juin 2000

UNIVERSITE DE TOULOUSE LE MIRAIL

06GEO10 Fondements méthodologiques pour la géographie : notions et techniques
18GEO3A Outils et techniques en géographie : initiation

Expression (carto-)graphique

cours et travaux dirigés

Martin Paegelow

Sommaire

1. L'espace géographique et sa représentation 4
A. Fonctions et difficultés de la représentation 4
B. Le passage d'une surface courbe à une surface plane: les projections 6
C. Exercice: reconnaissance de projections, utilité 18

2. La carte et les autres expressions cartographiques 19
A. Définitions: carte, cartodiagramme, etc. 19
B. Exercice: différencier cartes et cartogrammes 29

3. Avantages de l'expression (carto-)graphique 30
A. Sémiologie graphique – notions de base 30
B. Des cartes et des graphiques à lire et … à voir: la recherche de l'image 33
C. Comment procéder ? 36
D. Exercice: Des cartes à lire et à voir 37

4. Les moyens d'expression graphique (I): Variables graphiques 38
A. Les variables graphiques et leur implantation 38
B. Les propriétés des variables rétiniennes 39
C. Exercice: Les variables graphiques et leur implantation 45

5. Les moyens d'expression graphique (II): Imposition et perception 47
A. L'utilisation du plan – imposition / les types d'imposition (diagramme) 47
B. La perception des variables rétiniennes 49
C. Exercice: Imposition et perception 50

6. Les règles d'expression graphique (I): L'identification et le plan 52
A. Identification du graphique: titraison et légende 52
B. Le plan: homogène et significatif 55
C. Exercice: Exploration des ressources cartographiques sur Internet 58

7. Les règles d'expression graphique (II): La lisibilité 59
A. Règles de lisibilité 59
B. Exercice: Lisibilité du graphique 63

8. Analyse de l'information (I): Invariant et composantes 66
A. Nombre de composantes et conséquences sur la construction 66
B. Nombre de composantes et conséquences sur l'image 68
C. Exercice: Analyse d'une info et d'un graphique: tableau analytique 70

9. Analyse de l'information (II): Niveau statistique des composantes 72
A. Niveau d'organisation des composantes: répercussions sur le choix des variables rétiniennes 72
B. Représentation des quantités: masses ou taux ? 74
C. Exercice: Adéquation niveau statistique et niveau de perception 78

10. Traitement statistique de l'information : La discrétisation 81
A. Présentation de méthodes 81
B. Exemple: la densité de population par région 85
C. Exercice : Discrétisation 92

11. Traitements graphiques sans et avec perte graphique de l'information 94
A. Diagonalisation et transformation 94
B. Généralisation 97
C. Exercice : Diagonalisation 98

12. Objectif du graphique et choix d'expression 99
A. La fonction du graphique 99
B. Type et niveau de questions ou l'efficacité du graphique 102
C. Définition et limite de l'image 103
D. Exercice : Multitude des solutions et limites de l'image 110

13. La représentation d'une information complexe (I): Superposer, juxtaposer, synthétiser 111
A. Aperçu des méthodes 111
B. Exercice : Collection ou superposition ? 112

14. La représentation d'une information complexe (II): Les cartes par bandes 114
A. Méthodes 114
B. Exercice : Les cartes par bandes 117

15. La représentation d'une information complexe (III): La matrice ordonnable 118
A. Méthodes 119
B. Exercice : Traitement matriciel 121

16. La représentation d'une information complexe (IV): L'exemple des dynamiques 123
A. Dynamique spatiale – cartes de flux 123
B. Dynamique temporelle – cartes d'évolution 125
C. Exercice 128

17. Comment faire mentir les cartes ? 130
A. Les moyens 130
B. Exercice : Des graphiques menteurs ? 132

18. Correction des exercices 134

Annexes: 154
I. Bibliographie 154
II. Sélection de sites Internet 154

1. L'espace géographique et sa représentation

A. Fonctions et difficultés de la représentation cartographique

A quoi servent les cartes ?

La carte était avant l'apparition de la photographie aérienne et de l'imagerie satellitale, dont l'utilisation civile courante remonte respectivement aux années 1950 et 1970, le seul procédé permettant la représentation correcte de l'espace géographique. La carte en est un modèle conceptuel. Dans l'analyse de l'espace géographique la carte est un outil de recherche qui intervient à plusieurs niveaux:

- à sa découverte: localisation, délimitation, appropriation
- à son inventaire: mémorisation de l'information recueillie, description topographique et thématique
- à sa maîtrise: plans de cadastre, limites administratives – la carte exprimant le pouvoir
- à son analyse: traitement des données spatiales, attributaires et dans le temps
- à son interprétation: cartes de synthèse, cartes - modèles
- à sa communication: cartes de message, cartes simplifiées

Avant d'aborder le langage cartographique proprement dit il convient d'insister sur les liens entre carte et espace géographique qui est son objet de représentation.

Espace géographique

Ce terme fait référence à la surface terrestre, dans son ensemble ou en partie, et signifie que l'on s'intéresse aux phénomènes localisés dans cet espace, à leur distribution, mais surtout aux interactions entre les éléments constituant cet espace. *Espace géographique* signifie également que l'on dépasse la notion littérale de surface terrestre et que l'on étend aux différentes sphères géographiques (biosphère, hydrosphère, ... mais aussi à ses dimensions sociale et économique).

La cartographie a donc pour objet non seulement la localisation des phénomènes visibles dans le paysage ou de nature conventionnelle (équateur, limites administratives, ...) mais aussi de représenter d'innombrables faits et interactions dépassant l'aspect topographique (branche très développée de la carte thématique).

L'espace géographique dépasse, par conséquent, la seule perception du "visible" pour s'intéresser également aux causes et aux conséquences de l'organisation de l'espace. Ainsi l'espace géographique a une dimension:

- **sensorielle**: le paysage est la perception visuelle immédiate, plus ou moins subjective, d'un espace

- **scientifique**: un espace et ses éléments peuvent être mesurés et souvent être expliqués de manière rationnelle.

Maîtrise sémiologique

Cette dualité de l'espace géographique ne facilite pas sa représentation cartographique. La représentation de l'espace géographique doit se faire, d'une part, dans ses faits et relations. D'autre part, la forme de la représentation ne doit pas être trop éloignée de la perception que peut en avoir un observateur. D'où la nécessité d'employer des couleurs, des signes et des symboles qui véhiculent intuitivement le contenu de la carte pour en faire un lien avec la perception de l'espace. Il y a toute une théorie des propriétés visuelles, psychologiques et communicatives des signes et symboles que l'on appelle la **sémiologie graphique**[1].

Localisation et projection

Un autre problème fondamental est la localisation des entités spatiales qui nécessite le choix d'un référentiel et d'une projection permettant - sans l'abîmer abusivement - de projeter l'espace géographique tridimensionnel sur un plan bidimensionnel.

Traitement de l'information

Avant d'être représentées sur une carte, les données y inscrites ont été traitées. Ce qui figure sur la carte, ce sont soit des faits isolés, soit des ensembles ou de combinaisons de faits. Les cartes représentent aussi bien la physionomie du monde, qu'elles cherchent à saisir les réalités plus profondes faisant appel à son fonctionnement. Cette représentation est précédée par une série d'opérations de traitement de l'information:

- le lever: enquête sur le terrain ou bibliographique, mesure, analyse statistique ou au laboratoire etc.
- le traitement proprement dit: tri, discrétisation, hiérarchisation, codage, ...
- la traduction graphique se basant sur les règles de la sémiologie graphique.

Avant de cartographier, il faut comprendre et expliquer l'espace géographique ... et finalement le simplifier, le schématiser.

La variabilité de l'espace géographique

Les combinaisons d'éléments que l'on peut observer ne sont ni identiques d'un point à un autre ni d'un moment à un autre. L'espace géographique apparaît alors comme une mosaï que morcelée et en changement perpétuel. Ce changement peut être simplement variable (oscillation de la température autour d'une moyenne, cultures annuelles, …) ou tendanciel (évolution de l'occupation du sol ou de l'aspect géomorphologique d'une entité géographique). Non seulement le contenu (on dira: ses attributs) d'une entité géographique est variable mais les entités elles-mêmes sont sujettes aux transformations (redécoupage de l'espace communal toulousain en quartiers entre les recensements

[1] lire à ce sujet le remarquable ouvrage portant le même nom de Jacques Bertin, 1973.

1982 et 1990, variations du rivage d'un lac, …). Elles peuvent également apparaître (île volcanique, naissance d'un pays) ou disparaître (la mer Aral ou la Méditerranée à plusieurs reprises).

Cette variabilité spatio-temporelle transforme l'espace géographique plus ou moins rapidement, plus ou moins brutalement. Par conséquent, on peut distinguer des phénomènes

- **permanents**: géologie, altitude, climat, ...
- **fugitifs** : occupation du sol, voies de communication, densité de la population, ...

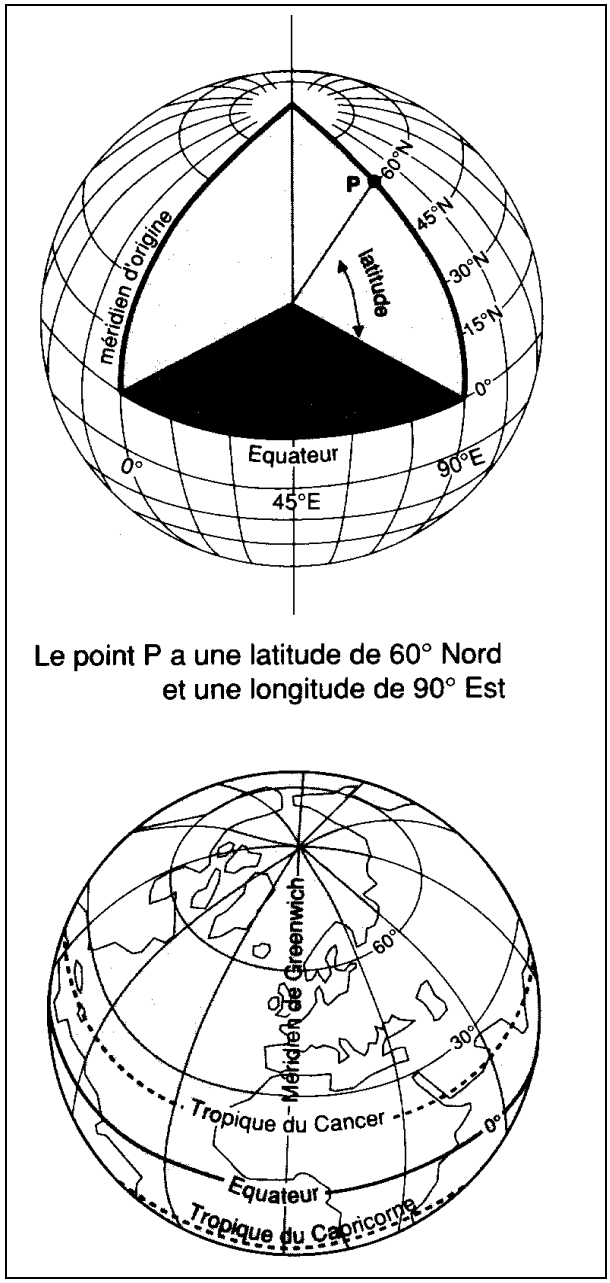
Ce qui semble statique à une échelle de temps et d'espace peut devenir dynamique à une autre. Ainsi la cartographie du relief d'une chaîne de montagne au 1 : 100 000 évolue très lentement. Par contre, si l'on agrandissait l'échelle (se plaçant par exemple au 1 : 5 000), on verrait des transformations d'une année sur l'autre (éboulis, traces d'érosion linéaire, …). La définition du cadre (échelle) temporel et spatial s'impose.

De manière générale on peut distinguer des cartes:

- **statiques** qui représentent un état momentané. La durée de cet état momentané est évidemment sujet au thème représenté et peut aller d'un million d'années en géologie pour se rétrécir à un an pour l'occupation du sol
- **dynamiques** qui expriment des mouvements, des flux, des migrations dans le temps et dans l'espace.

B. Le passage d'une surface courbe à une surface plane: les projections

L'espace géographique est un espace courbe. Pour les cartographes, il est décrit, modélisé, par son **ellipsoïde de référence**. Pour passer de l'ellipsoïde de référence à une représentation plane, il faut établir une correspondance entre les points de l'ellipsoïde et ceux du plan. Ce système de correspondance s'appelle un **système de projection**.
Ce passage de l'ellipsoïde à la carte est résolu quand les coordonnées rectangulaires du plan (x, y) sont reliés aux coordonnées géographiques (latitude, longitude, cf. fig. 1) de l'ellipsoïde par des fonctions mathématiques. S'il existe une infinité de solutions, la cartographie n'utilise guère plus que deux douzaines de projections parmi les environ 200 projections construites.



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 1 : Les coordonnées géographiques

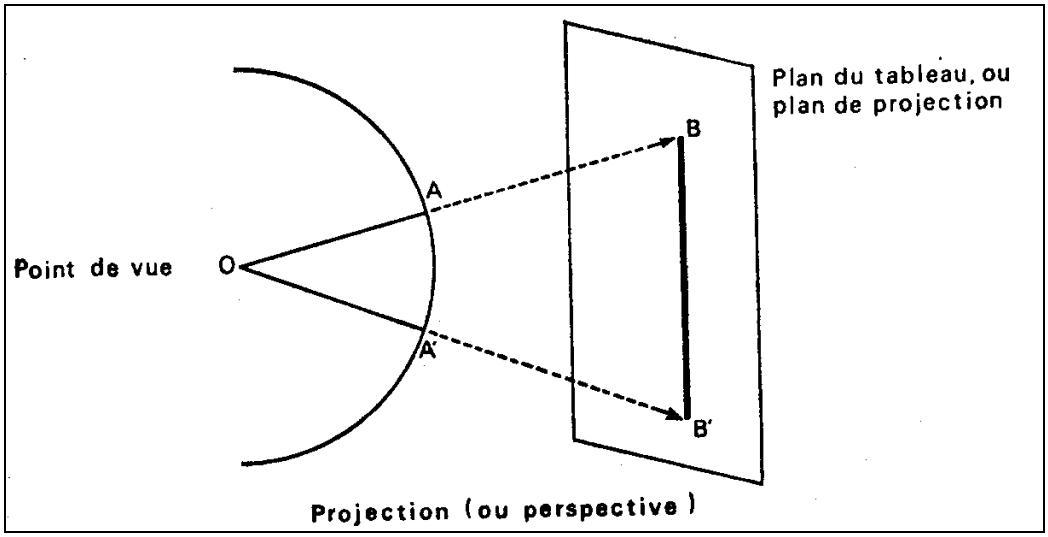
L'utilisation (et l'utilité) d'une projection dépend de l'échelle, de la situation géographique de la zone et du thème à représenter. Chaque projection a ses qualités et ses altérations.
Pour les systèmes de projection les plus utilisés il existe des tables (tables de projection) auxquelles on se réfère pour construire sur le plan un **canevas** (réseau de coordonnées).

On peut classer les projections selon les critères suivants:

- la méthode de construction
- le type de construction
- la qualité de la projection

Méthode de construction

Le terme projection suggère l'idée de projeter (cf. fig. 2). On peut dire que l'on projette un point A de l'ellipsoïde, observé d'un point O (origine ou point de vue) en un point A' sur une surface appelée **plan** (ou **surface**) **de projection**.



Source: F. Joly, La cartographie, PUF, 1976
Fig. 2 : Principe de projection perspective

On distingue entre les:

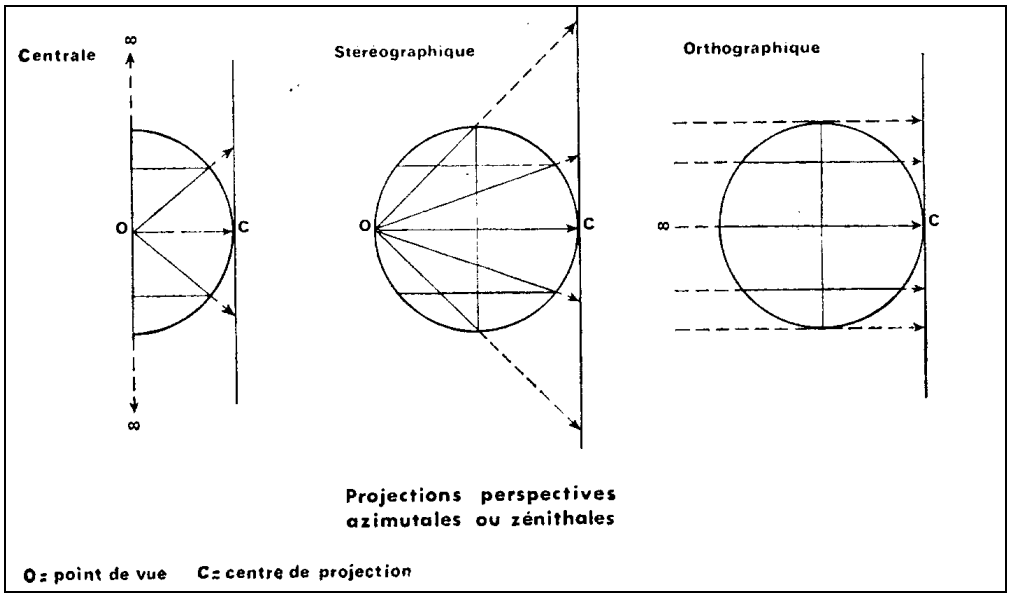
- les **vraies projections** ou **projections perspectives** pouvant être réalisées par report perspectif de la sphère sur un plan
- les **projections géométriques** obtenues par calcul ou par construction géométrique

Type de construction

La classification des projections selon leurs propriétés géométriques s'appuie sur trois critères:

a) le point de vue ou l'**origine**
b) la forme de la **surface de projection**
c) l'**aspect** ou le **centre de projection**

a) le point de vue (origine O) (cf. fig. 3)

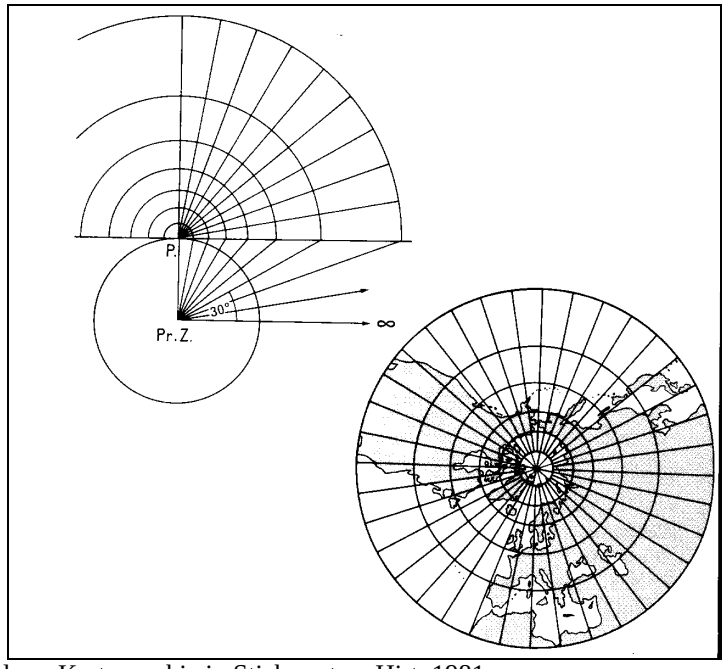


Source: F. Joly, La cartographie, PUF, 1976

Fig. 3 : Projection centrale, stéréographique et orthographique

Projection **gnomonique** ou **centrale** (cf.fig.4): O est au centre de la Terre. Caractéristiques:

- toute **orthodromie** (chemin le plus court entre deux points sur une surface courbe) est représentée par une droite sur la carte et vice versa
- la projection ne permet pas la représentation d'un hémisphère entier

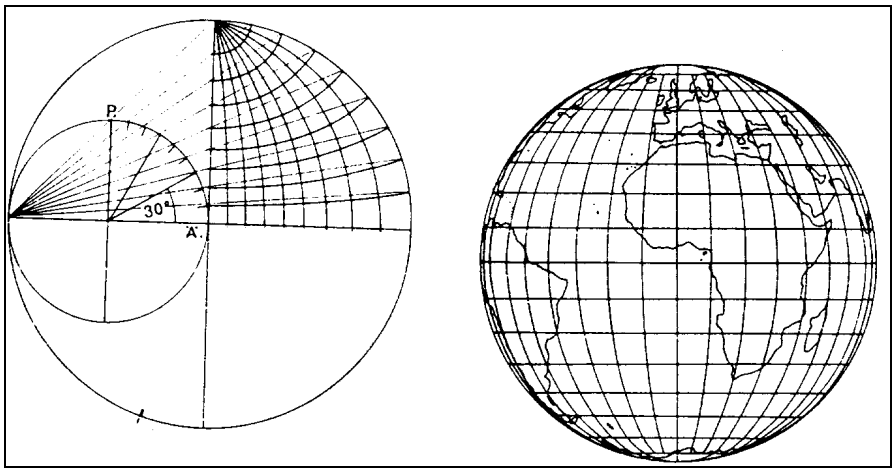


Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981

Fig. 4 : Projection azimutale centrale ; principe et application aux régions polaires

Projection **stéréographique** (cf.fig.5): O est placée à la surface opposée du globe (plus exactement au point opposé au point de tangence entre le globe et la surface de projection). Caractéristiques:

- la projection stéréographique est conforme
- la projection permet, en principe, la représentation de plus d'un hémisphère (déformations croissantes)
- toute **loxodromie** (cap coupant les méridiens sous le même angle) dessine une spirale logarithmique

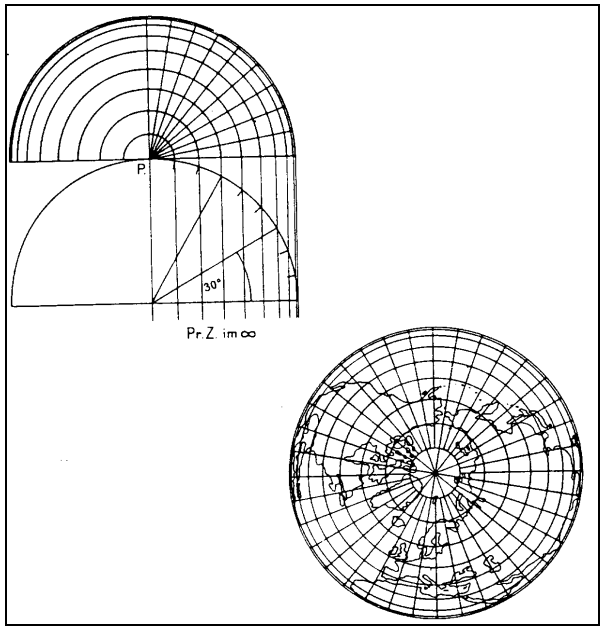


Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981

Fig. 5 : Projection azimutale stéréographique ; principe et application à l'hémisphère atlantique

Projection **orthographique** (cf. fig.6): O est rejetée à l'infini. Elle est connue, tout comme la projection stéréographique, depuis Hipparque. Caractéristiques:

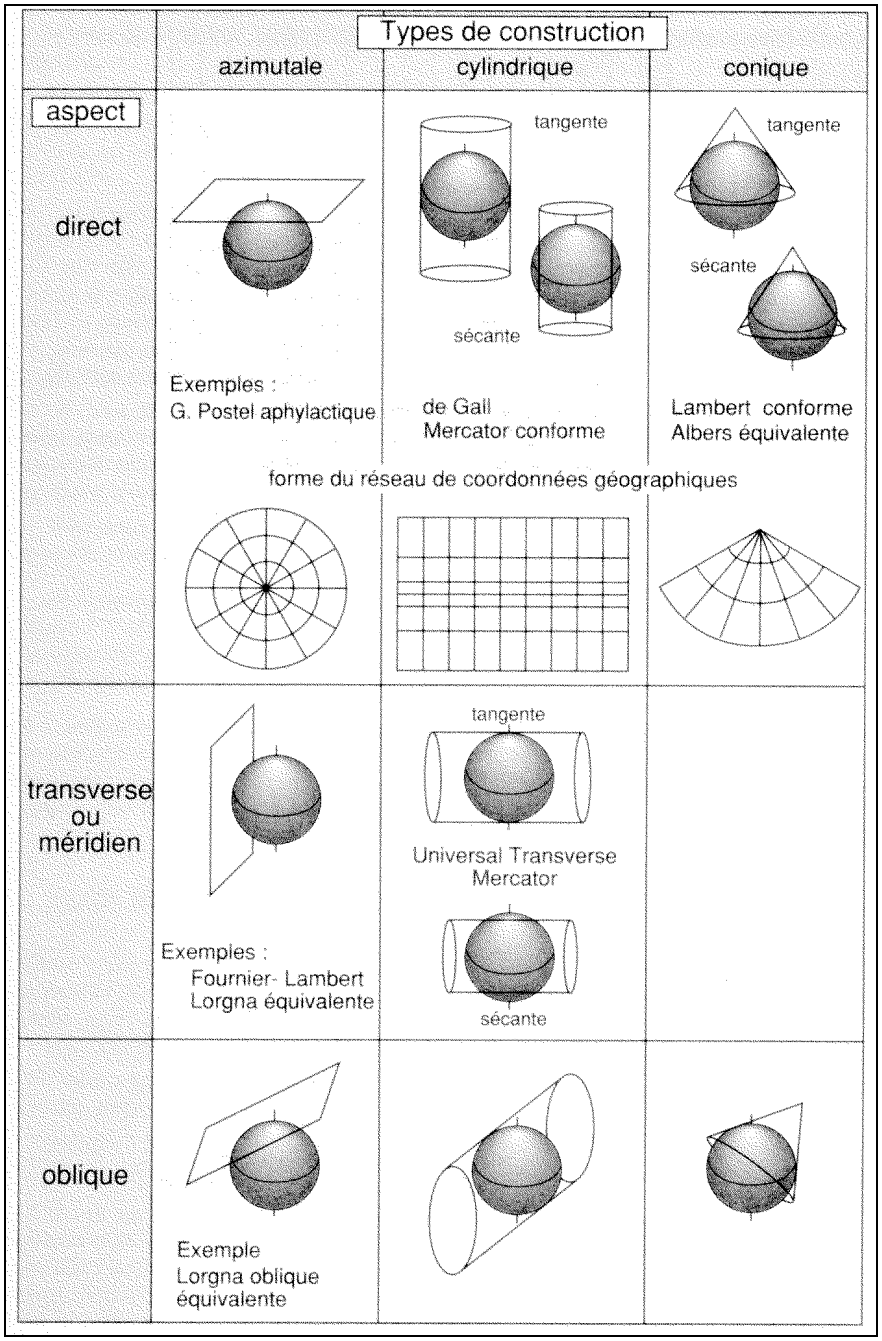
- elle permet la représentation d'un hémisphère
- elle est quelconque (aphylactique)



Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981

Fig. 6 : Projection azimutale orthographique ; principe et application à l'hémisphère Nord

b) la forme de la surface de projection (cf.fig.7)



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994

Fig. 7 : Les types de projection

- Projection **azimutale**: dite aussi projection zénithale. La surface de projection est un plan rectangle tangent à la sphère sur lequel on projette une partie du globe. Ce point tangent (contact entre l'ellipsœ de et la surface de projection) est appelé **centre de projection**. Le centre de projection est le seul endroit sans aucune déformation. La projection azimutale conserve azimuts et distances mesurés à partir du centre de projection.

- Projection **conique**: la surface de projection est un cône (tronqué ou non) tangent à l'ellipsoïde ou sécant. Le centre de projection est soit une ligne (cône tangent) soit deux lignes (cône sécant). Caractéristique du canevas: les méridiens forment des droites concourantes, les parallèles des arcs de cercle concentriques

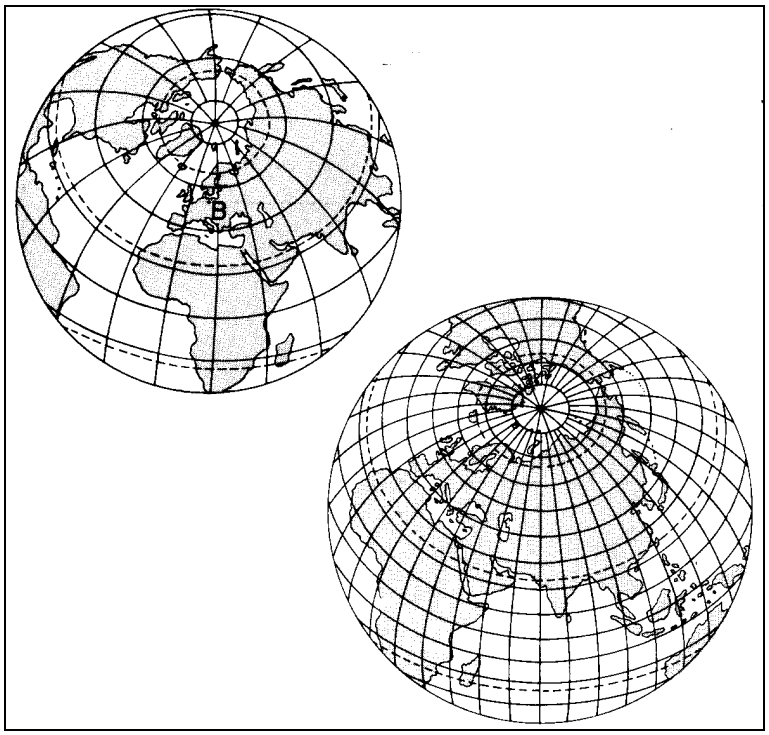
- Projection **cylindrique**: la surface de projection est un cylindre tangent ou sécant. caractéristique du canevas: rectangulaire – méridiens et parallèles forment des droites et l'espacement entre les parallèles croît avec la latitude.

  Outre ces trois projections géométriques, il existe d'autres constructions purement mathématiques. Pour les cartes à grande échelle couvrant un territoire vaste (plusieurs feuilles), on réduit le champ de la projection à une feuille de la carte ou un ensemble de feuilles: projections polyconiques (champ de projection correspond à plusieurs troncs de cône) ou polyédriques (champ sous forme d'un trapèze). Le but recherché est évidemment de réduire au maximum les altérations.

  c) le centre de projection appelé aussi aspect

  Pour que le report sur la surface de projection se fasse avec un minimum d'altérations il convient de situer le centre de projection en fonction de la région à représenter. On distingue entre:

  - l'aspect **polaire** ou **direct**: le pivot de la projection est l'un des pôles (cf. fig. 5)
  - l'aspect **transverse** ou **méridien**: le pivot est un point situé sur l'équateur (cf. fig. 6)
  - l'aspect **oblique**: le pivot est un point quelconque (ni un des pôles, ni un point sur l'équateur) (cf. fig. 8)



Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981

Fig. 8 : Projection azimutale orthographique, aspect oblique

Le choix du centre de projection n'a aucun impact sur les propriétés de la projection. Ainsi une projection conforme polaire restera conforme dans sa forme transverse ou oblique.

Qualité et altérations

Il est impossible de reporter une surface courbe sur une surface plane sans la déformer ou déchirer, c'est-à-dire sans altérer ses qualités. Ces altérations portent sur les surfaces, les angles et les distances ... et par conséquent sur les formes.

Les altérations sont d'autant plus importantes que:

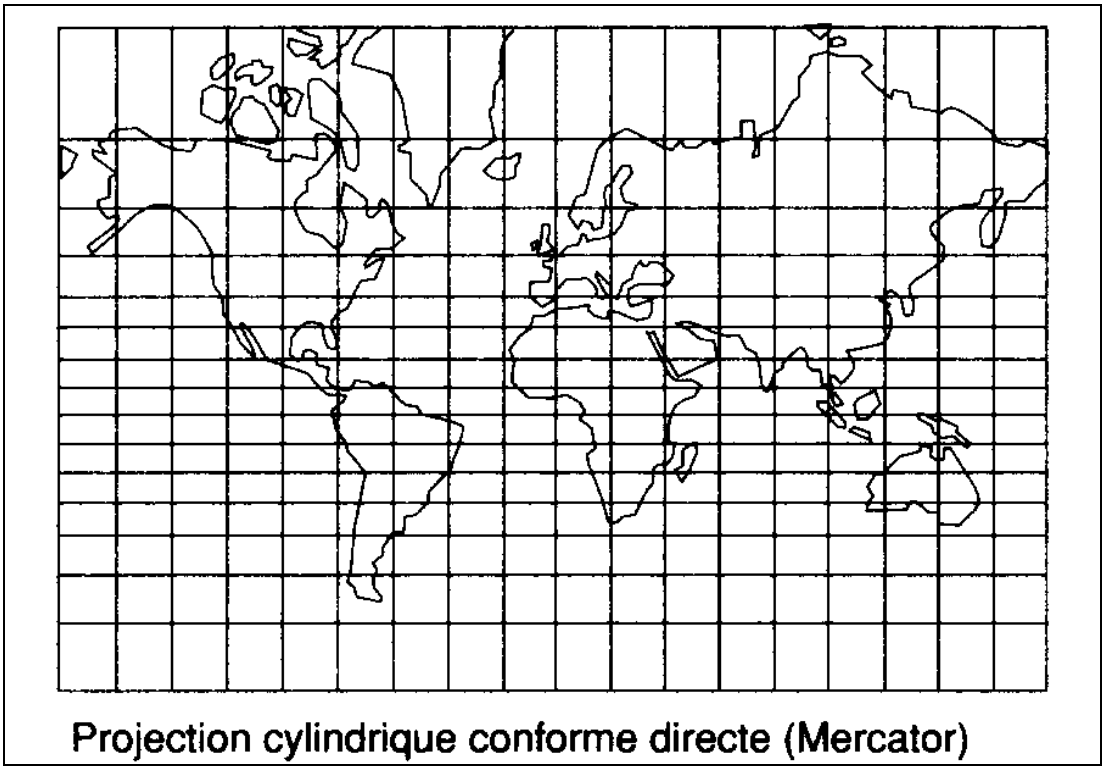
- la surface courbe représentée est grande
- la partie représentée est loin du centre de projection (seul « point » sans déformation)

Selon la projection choisie on peut conserver une propriété au détriment des autres. Il s'agit d'un choix exclusif.

- Les projections **conformes**

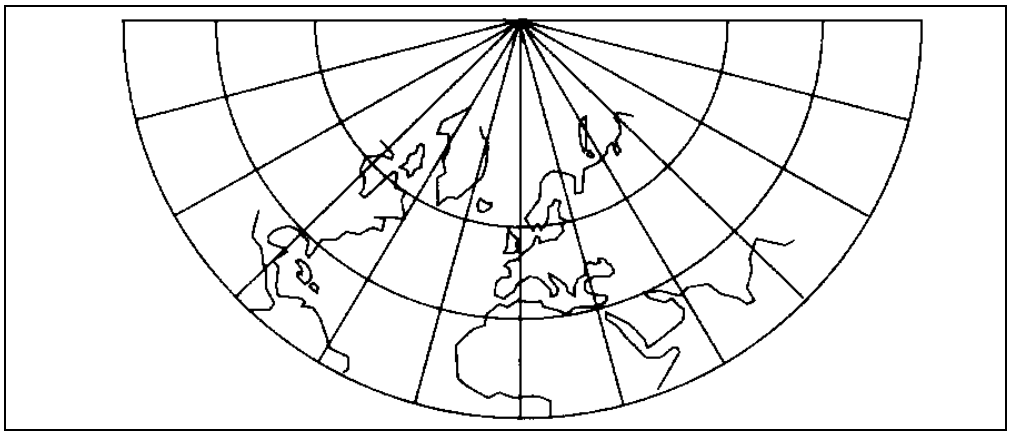
Elles conservent les rapports d'angles. L'échelle des longueurs en un point est la même pour toutes les directions mais l'échelle change d'un point à l'autre (déformation des distances) Les méridiens et les parallèles se recoupent perpendiculairement (comme ils le font sur le globe). Ainsi les loxodromies forment des droites. Les projections conformes ont joué un rôle de premier ordre dans le développement de la navigation maritime. Les mailles du réseau de coordonnées sphériques (le canevas) se transforment en rectangles de hauteur croissante avec la latitude. Ceci déforme de manière exponentielle les surfaces et les formes dans les hautes latitudes. Pour ces projections on parle du phénomène des « *latitudes croissantes* »[2].
La plus célèbre des projections conformes est sans doute la projection cylindrique conforme de Mercator (1569) (cf. fig. 9).

[2] En réalité, la longueur des parallèles (la circonférence) diminue avec le cosinus de la latitude. Pour conserver une longueur égale à celle de l'équateur on augmente progressivement les écarts entre les parallèles selon: $\delta y = l / \cos l$ où δy=écart entre 2 parallèles et l=latitude.



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 9 : Projection cylindrique conforme directe (Mercator)

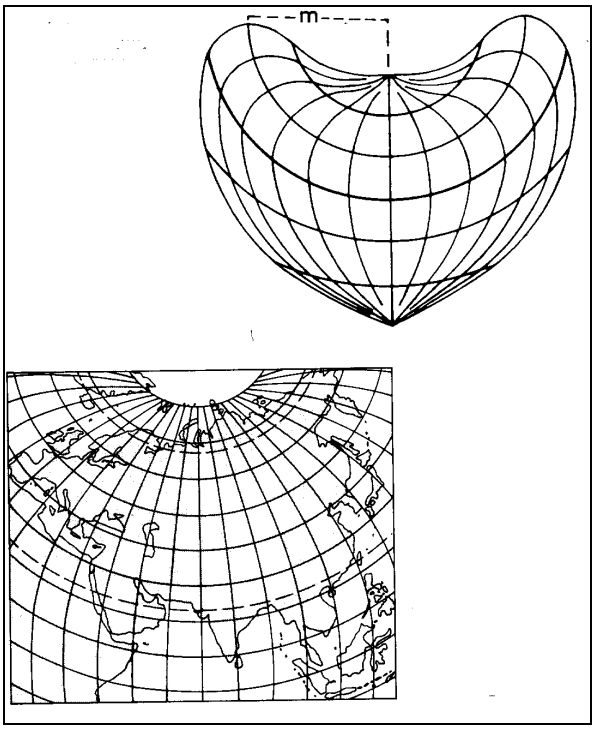
En aspect transverse (le cylindre étant tangent aux deux pôles), la projection est celle de Gauss ou celle dite **UTM** (universal transverse Mercator). Pour les cartes topographiques des régions situées entre 80° N et S, la projection UTM est la plus utilisée (environ 80% des cartes topographiques dans le monde). A savoir que les cartes topographiques françaises s'appuient sur la projection conique conforme de Lambert (18ème siècle, cf. fig. 10).



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 10 : Projection conique conforme de Lambert

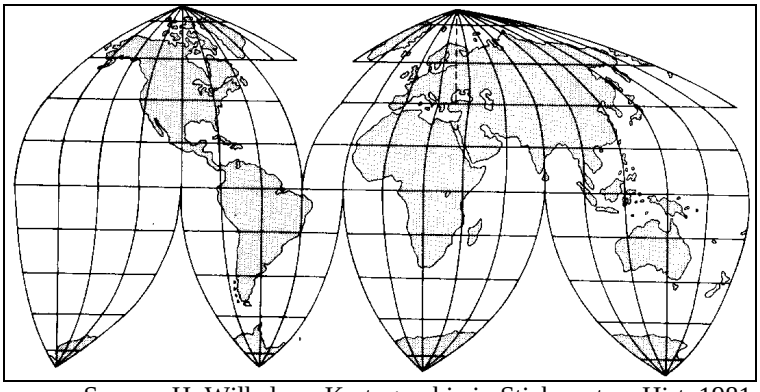
- Les projections **équivalentes**

Elles conservent les rapports de surface. Pour qu'une projection soit équivalente, il faut que le rapport entre une surface S' mesurée sur la carte et la surface S de référence (mesurée sur la sphère terrestre) soit le même pour tout point de la projection. L'échelle des longueurs varie autour d'un point selon la direction. On peut citer la projection de Bonne (1752) qui n'est pas une vraie projection conique car les méridiens ne forment pas des droites. Par contre elle est équivalente et fut utilisée notamment pour la carte topographique au 1:80.000 dite de l'Etat-Major. Elle fut également utilisée dans différents autres pays européens durant le 19ème siècle (cf. fig. 11). :Sachant que la préservation d'une qualité déforme d'autant plus les autres que la partie représentée est grande, Goode conçut (sur la base de la projection de Molweide) une projection équivalente interrompue, dite aussi en papillon (cf. fig. 12).



Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981

Fig. 11 : Projection de Bonne ; principe et application au continent eurasien



Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981

Fig. 12 : Projection de Goode, appelée aussi p. en papillon

Conformité et équivalence sont des propriétés exclusives. Il n'y a aucune projection qui préserve partout la troisième qualité: le rapport des longueurs. Il n'y a que des projections partiellement ***équidistantes****.*

- Les projections **aphylactiques**

Il s'agit de projections compensées, appelées aussi quelconques. Elles ne préservent aucune qualité mais cherchent à faire un compromis entre elles. On peut distinguer entre les projections partiellement **équidistantes** (équidistance des parallèles et orthogonalité du canevas géographique) et les constructions ayant pour souci la ressemblance aux formes réelles. Elles sont souvent utilisées pour la représentation de **planisphères** (représentation de la surface terrestre d'un seul tenant) et de **mappemondes** (représentation séparée des deux hémisphères)

Joly (1976) donne pour les projections les plus utilisées les caractères remarquables (la projection utilisée n'est pas toujours indiquée sur les cartes) et leur usage (cf. fig. 13). De même Béguin & Pumain (1994) dressent un tableau synoptique des principales projections classées par la taille des zones représentées et l'usage (cf. fig. 14).

Projections	*Caractères remarquables*	*Utilisation*
Conformes :		
Cartes plates	Coordonnées rectangulaires équidistantes	Antiquité. Plans
Stéréographique	Tout cercle de la sphère est un cercle en projection. Echelle constante sur tout cercle ayant pour centre le centre de projection	Régions polaires. Mappemondes. Ciel
Mercator	Coordonnées rectangulaires. Parallèles de plus en plus espacés selon les latitudes croissantes. Echelle variable selon la latitude. Les loxodromies sont des droites	Cartes marines. Planisphères. Basses latitudes
Mercator transverse (MTU = UTM)	Coordonnées transcendantes orthogonales. L'équateur et le méridien central sont des droites perpendiculaires	Cartographie des latitudes moyennes
Conique de Lambert (tangente ou sécante)	Méridiens rectilignes concourants. Parallèles concentriques. Echelle conservée sur le (ou les) parallèle tangent	Cartes à grande échelle. Latitudes moyennes
Equivalentes :		
Azimutale polaire de Lambert	Méridiens rectilignes rayonnants. Parallèles concentriques dont le rayon = la corde de la latitude correspondante	Régions polaires. Hémisphère N
Conique de Lambert	Méridiens rectilignes concourants. Parallèles concentriques	Cartes régionales
Bonne	Parallèles concentriques équidistants. Méridiens transcendants	Carte de France au 1 : 80 000
Mollweide	L'équateur et le méridien central sont des droites perpendiculaires. Les parallèles sont des droites parallèles à l'équateur, les méridiens des ellipses	Planisphères
Aphylactiques :		
Gnomonique	Toute orthodromie se projette selon une droite	Navigation
Orthographique	Polaire : méridiens concourants; parallèles concentriques	Soleil, planètes
	Transverse : les méridiens sont des ellipses, les parallèles des droites parallèles à l'équateur	Mappemondes des anciens atlas
Guillaume Postel	Equidistante à partir du centre de projection. Coordonnées courbes	Navigation. Mappemondes

Source: F. Joly, La cartographie, PUF, 1976

Fig. 13 : Principaux systèmes de projection

	Propriétés	Projection et type de construction
Les planisphères	équivalentes	- Mollweide, Hammer (type azimutal), - Eckert IV, Samson-Flamsteed (assimilée aux projections coniques)
	conformes	- Mercator (cylindrique) - Gall (stéréographique), Winkel, Eckert III
Les mappemondes	équivalente	- Projection azimutale équivalente de Lambert dite de Lorgna
	conformes	- Les projections azimutales stéréographiques polaires
Les masses continentales		
Asie, Amérique du Nord	équivalentes	- Albers (conique sécante) - Bonne (conique dérivée) - Lambert (azimutale transverse)
Europe, Australie	équivalentes	- Lambert-Lorgna (azimutale transverse) - Albers (conique sécante) Les projections coniques simples avec deux parallèles sécants sont les plus utilisées
Afrique,, Amérique du Sud et régions proches de l'Equateur	équivalentes	- Lambert-Lorgna (azimutale transverse) - Hatt (azimutale oblique) - Mollweide, Hammer, Mercator (pour les régions proches de l'Equateur)
Régions polaires	équivalente aphylactique	- Bonne (conique dérivée) - Postel (azimutale polaire)
Grands pays aux latitudes moyennes	équivalentes	surtout les projections azimutales équivalentes coniques équivalentes - Albers (projection tronconique) - Bonne (projection conique dérivée)
Petits pays aux latitudes moyennes	équivalentes	- projections coniques : Albers et Bonne
Pour la navigation et la météorologie		
	conformes	- projection cylindrique de Mercator (loxodromie rectiligne) - projection stéréographique polaire - les projections gnomoniques (orthodromie rectiligne) - les projections de Mercator oblique, (construction des routiers U.S) - projection conique de Lambert (orthodromie rectiligne)
Cartes topographiques		
	conformes	- projection de Gauss/UTM cylindrique transverse (80% de la production mondiale) - projection conique conforme de Lambert, France (10%)
	aphylactique	- projection polyconique COAST and GEODESIC SURVEY (10%)

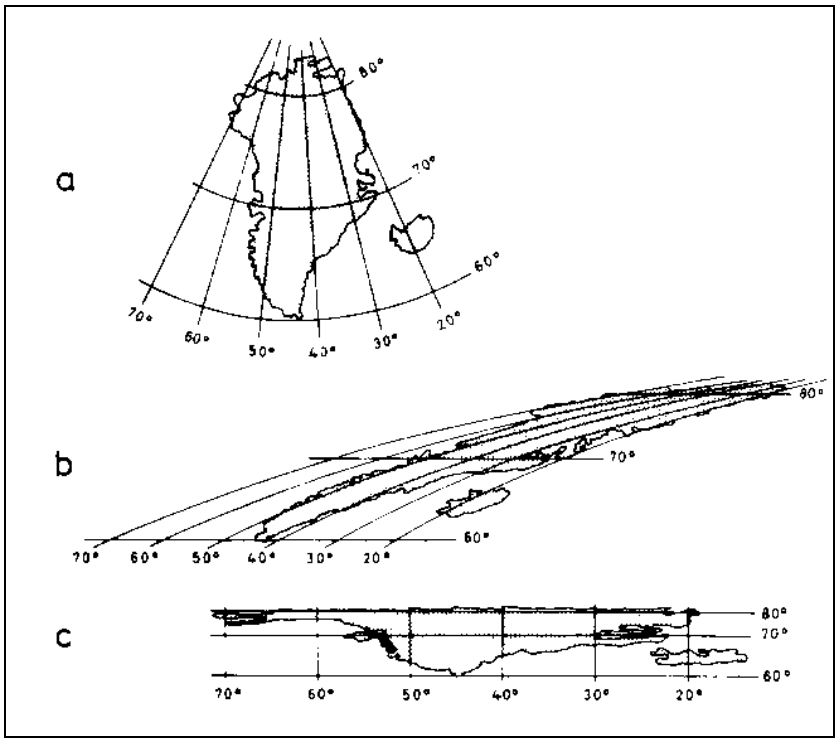
Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994

Fig. 14 : Les types de projection

Le choix d'une projection est fonction de plusieurs critères:

- la position géographique de la région à représenter
- l'étendue de la région
- l'objectif de la représentation: navigation (conforme), politique (équivalence) ou situation, donc souci de préservation des formes (aphylactique)

Wilhelmy (1981) démontre l'importance du choix de la projection à travers trois représentation, pourtant équivalentes, du Groenland: fig. 15.



Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981

Fig. 15 : Le Groenland en projections équivalentes adaptées (a. de Lambert) et inadaptées (b. planisphère de Mollweide, c. projection cylindrique de Lambert).

C. Exercice: reconnaissance de projections, utilité

1. Connectez-vous sur le site Internet américain dont l'adresse figure ci-dessous. On peut y télécharger gratuitement le logiciel Versamap de Charles H. Culberson permettant l'affichage de planisphères en plusieurs projections. Pour chaque projection on y trouve les données techniques, les caractéristiques et des indications sur les déformations.

   http://versamap.com

2. La carte et les autres expressions cartographiques

A. Définitions: carte, cartodiagramme, etc.

1. La carte

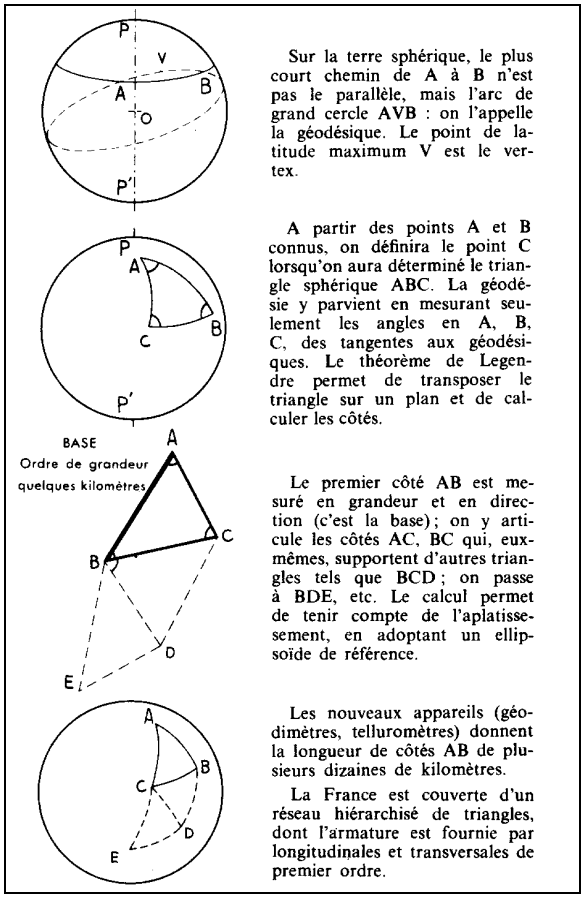
La définition présentée ci-dessous est celle de JOLY (1976, modifiée en s'inspirant d'Arnberger, 1993). Si elle peut paraître un peu barbare elle a l'avantage d'être relativement complète et précise.

Une carte est une représentation géométrique plane, simplifiée et conventionnelle, orientée et réduite, de tout ou d'une partie de la surface terrestre et ceci dans un rapport de similitude convenable que l'on appelle échelle.

Revenons en détail sur cette définition.

· *une représentation géométrique plane*

La carte est le résultat d'une transposition de la surface terrestre - qui est une surface courbe - sur une feuille de papier plane. Or ce passage d'une surface courbe à une surface plane est délicat pour deux raisons.
D'une part, il faut connaître la forme exacte de la Terre, tâche qui incombe à la géodésie (science de la forme et des dimensions de la Terre, cf. fig. 16). Notre planète s'apparente à un ellipsoï de mais, à grande échelle, on peut en percevoir ses singularités (chaînes de montagne, fosses marines etc.) d'où la désignation **géoï de** qui souligne le caractère unique de la Terre. Pour schématiser on peut apparenter la Terre à un **ellipsoï de de révolution** puisque notre planète tourne autour d'un de ses axes.


P
V
A
B
O
P'
Sur la terre sphérique, le plus court chemin de A à B n'est pas le parallèle, mais l'arc de grand cercle AVB : on l'appelle la géodésique. Le point de latitude maximum V est le vertex.
P
A
C
B
P'
A partir des points A et B connus, on définira le point C lorsqu'on aura déterminé le triangle sphérique ABC. La géodésie y parvient en mesurant seulement les angles en A, B, C, des tangentes aux géodésiques. Le théorème de Legendre permet de transposer le triangle sur un plan et de calculer les côtés.
BASE
Ordre de grandeur
quelques kilomètres
A
B
C
D
E
Le premier côté AB est mesuré en grandeur et en direction (c'est la base) ; on y articule les côtés AC, BC qui, eux-mêmes, supportent d'autres triangles tels que BCD ; on passe à BDE, etc. Le calcul permet de tenir compte de l'aplatissement, en adoptant un ellipsoïde de référence.
A
B
C
D
E
Les nouveaux appareils (géodimètres, telluromètres) donnent la longueur de côtés AB de plusieurs dizaines de kilomètres.
La France est couverte d'un réseau hiérarchisé de triangles, dont l'armature est fournie par longitudinales et transversales de premier ordre.

Source: F. Joly, La cartographie, PUF, 1985
Fig. 16 : La géodésie et la triangulation

L'Union Géodésique Internationale a retenu l'**ellipsoïde de Hayford** (1909) comme ellipsoïde de référence[4]. Ses caractéristiques sont les suivantes:

- R (demi-grand axe): 6378 km (équateur)
- r (demi-petit axe): 6357 km (pôle)
- facteur d'aplatissement (R-r)/R = 1 / 297

La triangulation française (dont le point fondamental est le Panthéon), utilisée par les cartes topographiques, se base sur l'ellipsoïde de Clarke (1880, facteur d'aplatissement: 1/293).
La deuxième difficulté réside dans le passage même d'une surface courbe à une surface plane: problème des projections, cf. ci-dessus).

· *une représentation simplifiée et conventionnelle*

Toute carte est une représentation incomplète de la réalité. Elle est de ce point de vue beaucoup moins fidèle à la réalité que ne l'est une photographie aérienne. La cartographie fait un choix parmi les objets qu'elle représente:

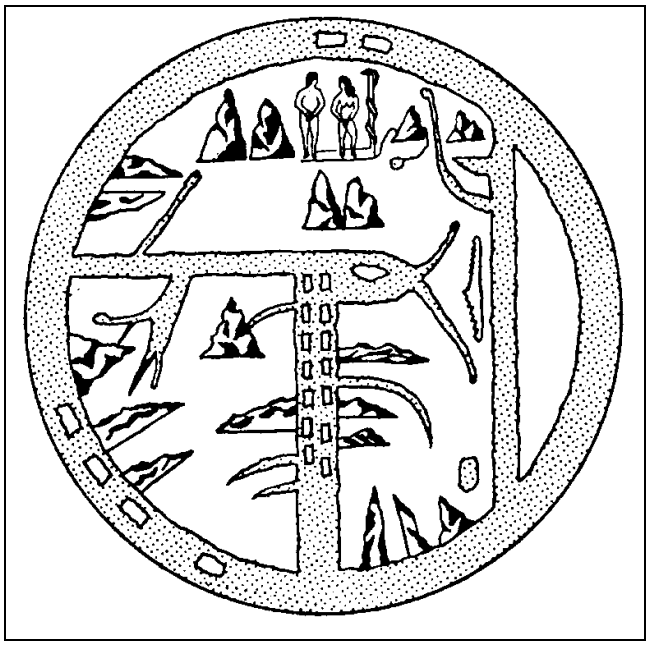
[4] légèrement modifiée en 1967 par l'Association Internationale de Géodésie, facteur d'aplatissement de 1/298.25

- un choix en nombre
- un choix en importance.

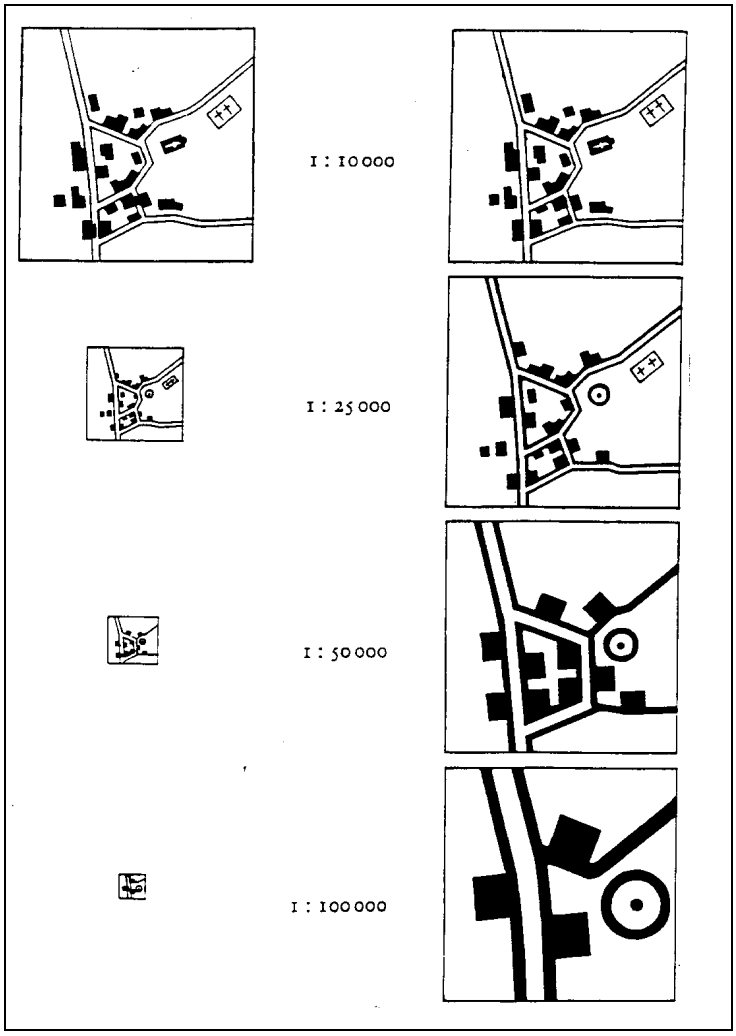
Il y a donc des **critères de sélection** et la carte devient un **modèle conceptuel et subjectif** du réel. La part de subjectivité est selon les types de cartes plus ou moins compensée par des **normes**. Ainsi les critères de sélection sont très standardisés dans le domaine de la cartographie topographique. Les critères de sélection étant normés, la représentation des objets sélectionnés devient conventionnelle car le réel est traduit en signes et symboles définis au préalable.

· *une représentation orientée et réduite*

Si la carte ne représente qu'une partie de la Terre, il faut indiquer à quoi correspond la haut de la carte. Dans la cartographie chrétienne médiévale, les cartes étaient littéralement **orientées**: le haut de la carte montrait la Terre Sainte. La carte dite de "T dans l'O" illustre la mainmise idéologique sur la science cartographique (cf. fig. 17). De nos jours les cartes sont généralement orientées N à moins que la forme de la zone représentée n'exige une orientation spécifique. Une carte est toujours une reproduction **réduite** de la réalité. Plus la réduction est importante plus la sélection doit être sévère, plus la carte devient schématique. Ce processus d'abstraction est appelée **généralisation.** La fig. 18 montre la représentation cartographique d'un petit village à travers quatre échelles: du 1:10 000 au 1:100 000. La surface de représentation se réduit donc de 100 à 1.



Source: F. Joly, La cartographie, PUF, 1976
Fig. 17 : La carte dite « T dans l'O » symbolisant la Trinité



Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981
Fig. 18 : Généralisation cartographique du 1 : 10 000 au 1 : 100 000

· *une représentation de tout ou d'une partie de la surface terrestre*

Il y a des projections qui permettent d'aplanir toute la surface terrestre. Ces **mappemondes** (représentation du monde en deux hémisphères mais à plat) ou **planisphères** (autres représentations planes du Monde entier) sont très déformées et généralisées. Pour limiter ces défauts on représente le monde en feuilles assemblées couvrant chacune un morceau: **l'atlas**.

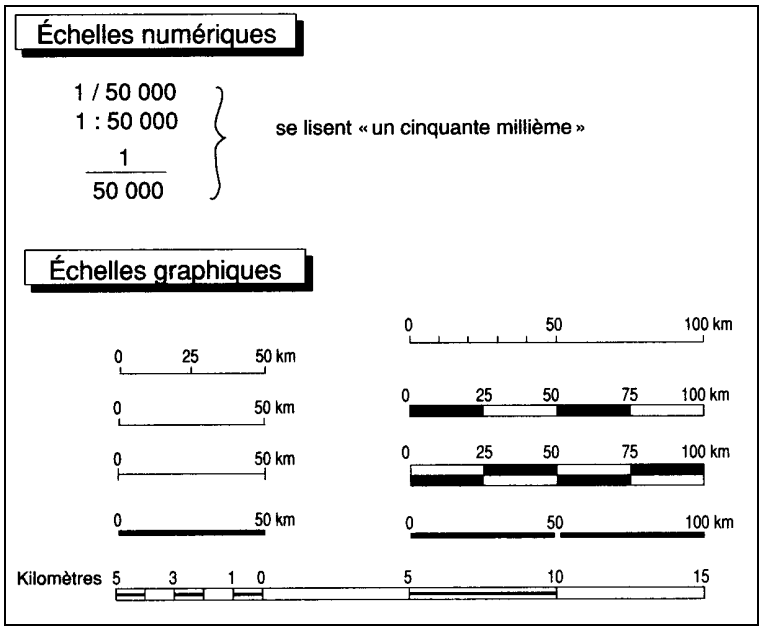
· *un rapport de similitude que l'on appelle échelle*

La relation de similitude que l'on établit entre les dimensions du réel et celles de son représentation s'appelle **échelle**.
L'échelle est le rapport **constant** entre les distances linéaires mesurées sur la carte et les distances linéaires correspondantes mesurées sur le terrain. Rapport constant veut dire qu'il s'agit d'un rapport valable pour toute la carte - d'où la notion de précision inhérente à la carte.
L'échelle s'exprime généralement par une fraction:

- numérateur: unité de mesure (mm, cm, ...)
- dénominateur: nombre d'unités sur le terrain.

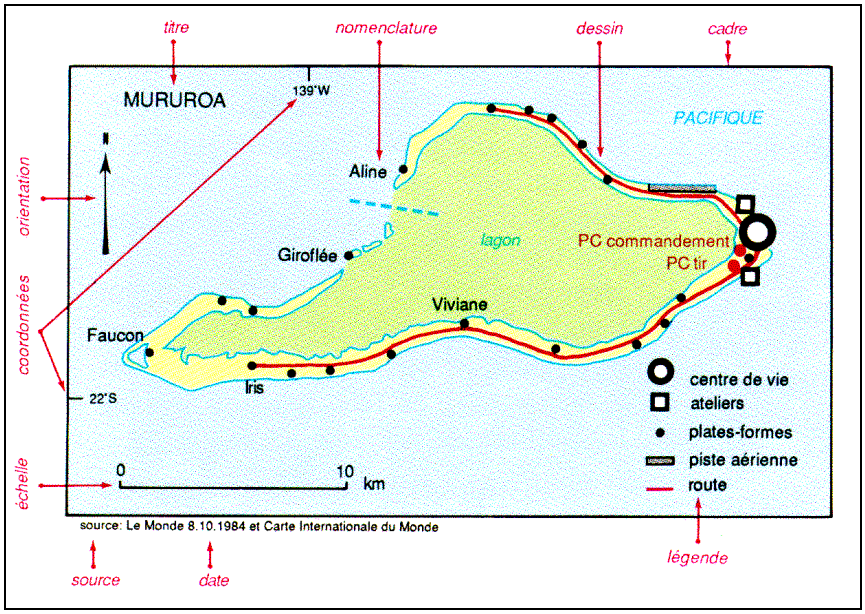
Ainsi au 1:50.000
- 1mm carte = 50.000 mm terrain (50 m)
- 1cm carte = 50.000 cm terrain (500 m).

Cette **échelle numérique** est indiquée soit 1:50.000 ou 1/50.000. On dit aussi qu'une carte est "au cinquante millième".
Dans la pratique et pour éviter que ce rapport soit altéré par réduction ou agrandissement de l'original on a recours à l'**échelle graphique** composée d'un talon à gauche et de n parties égales dans la partie droite (cf. fig. 19).



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig.19 : La représentation des échelles numérique et graphique

Selon Brunet (1987) toute carte devrait être "vêtue" de dix éléments sans lesquels elle ne serait lisible que partiellement (cf. fig. 20).



Source: R. Brunet, La carte, mode d'emploi, Fayard / Reclus, 1987

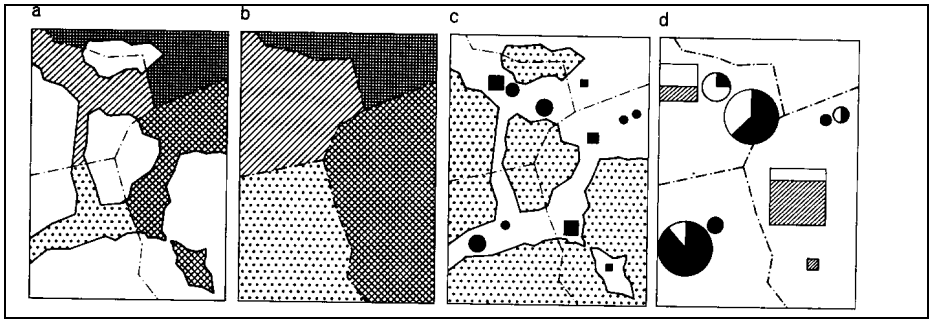
Fig. 20 : L'habillage cartographique ou les 10 éléments indispensables

2. La carte - une forme d'expression cartographique

Parmi les formes d'expression cartographique, on entend les reproductions en deux ou en trois dimensions de la surface terrestre dont la conception géométrique sert à localiser à échelle réduite le thème représenté. Appartiennent ainsi à la production cartographique: globes, modèles numériques de terrain (MNT), blocs-diagrammes, profils (topographiques, géologiques,...), cartes et cartogrammes. Les représentations cartographiques les plus usuelles sont en deux dimensions: la carte et le cartogramme.

▪ Le cartogramme

Si la **carte** cherche avant tout à être précise (localisation), le **cartogramme,** au contraire, simplifie le fond topographique et se contente d'une précision moindre en ce qui concerne la localisation géographique afin de transmettre un message thématique plus riche.
En implantation surfacique le cartogramme représente un thème dont la surface cartographique n'est pas identique à la surface réelle de répartition du caractère représenté. Selon certains auteurs (cf., entre autres, Rimbert, 1990 et Blin & Bord, 1993), cette déformation de la surface de référence équivaut aux traitements décrits sous le terme anamorphose. En implantation ponctuelle le fond topographique est très allégé et supporte des diagrammes à localisation approximative. On parle aussi de **carto-diagramme**.



Source: E. Arnberger, Thematische Kartographie, Westermann, 1993
Fig. 21 : La carte et le cartogramme

La figure 21 montre que la limite entre carte et cartogramme peut paraître subtile:

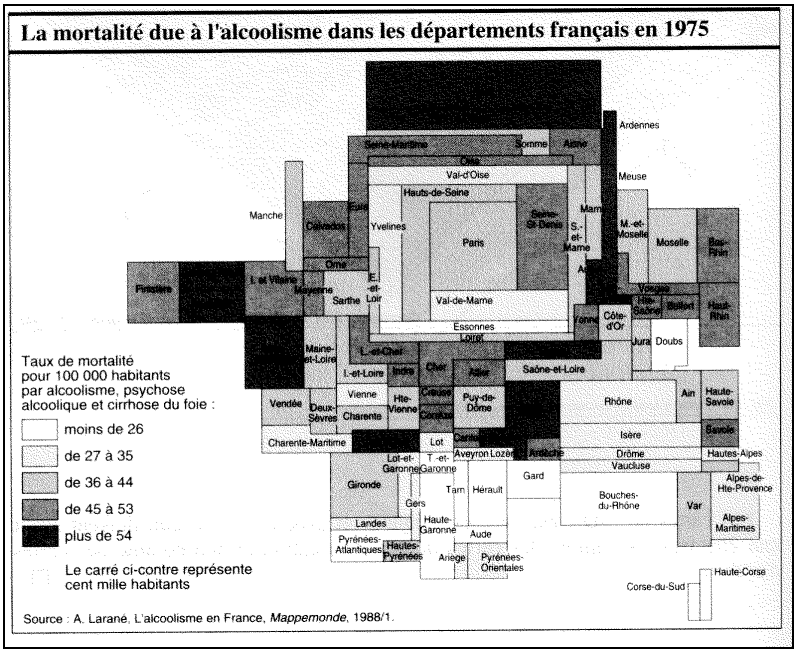
a) Représentation de la surface agricole utile (SAU) de quatre communes : les hachures expriment leur proportion par rapport à la surface totale. Les surfaces non agricoles sont laissées en blanc. La représentation est une **carte**.
b) Même contenu mais représenté sous forme d'un **cartogramme** à implantation surfacique. La surface cartographique n'est pas identique à la surface de répartition du caractère sur le terrain.
c) Sites industriels selon leur taille et leur nature : la surface de représentation cartographique est aussi proche que possible de leur surface géographique. La localisation est assurée, il s'agit d'une **carte.**
d) Même contenu mais avec une précision thématique et quantitative accrue. Le contenu est représenté ponctuellement sous forme de diagrammes sur fond topographique allégé. La représentation est un **cartogramme** (**carto-diagramme**).

▪ L'anamorphose

Le terme désigne un ensemble de représentations cartographiques où les unités spatiales (entités géographiques ou carroyage de l'espace) sont déformées selon une composante thématique quantitative. La surface des unités spatiales devient proportionnelle au critère thématique.

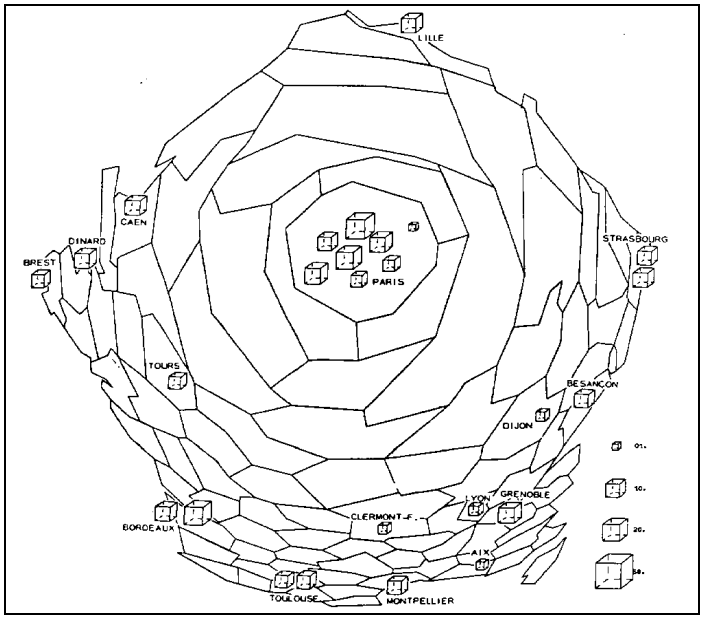
Les anamorphoses les plus usuelles consistent à rendre proportionnelle la surface de figures géométriques simples à:

- une quantité : rectangles représentant les départements ou cartes par carroyage (fig. 22 et 23)



Source: E.Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

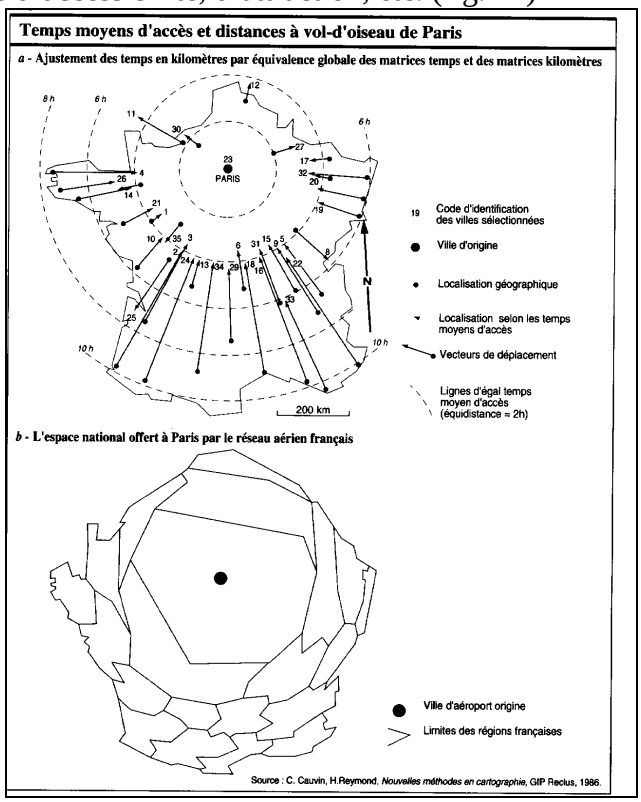
Fig. 22 : Anamorphose simple



Source: S. Rimbert, Carto-graphies, Hermès, 1990

Fig. 23 : Anamorphose unipolaire montrant la répartition des laboratoires CNRS spécialisés en géographie en 1980

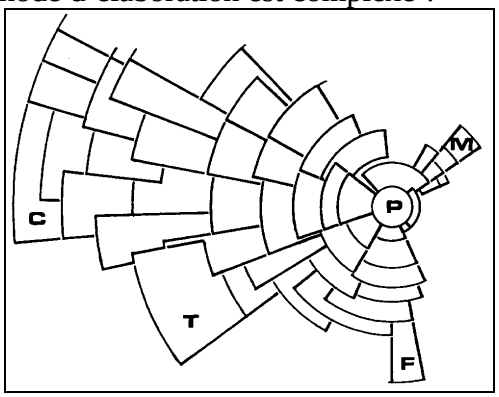
- à une distance : cartes d'accessibilité, d'attraction, etc. (fig. 24)


Temps moyens d'accès et distances à vol-d'oiseau de Paris
a - Ajustement des temps en kilomètres par équivalence globale des matrices temps et des matrices kilomètres
8 h
6 h
6 h
PARIS
200 km
10 h
10 h
N
19 Code d'identification des villes sélectionnées
Ville d'origine
Localisation géographique
Localisation selon les temps moyens d'accès
Vecteurs de déplacement
Lignes d'égal temps moyen d'accès (équidistance = 2h)
b - L'espace national offert à Paris par le réseau aérien français
Ville d'aéroport origine
Limites des régions françaises
Source : C. Cauvin, H.Reymond, Nouvelles méthodes en cartographie, GIP Reclus, 1986.

Source: E.Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 24 : Anamorphose montrant l'accessibilité des principales villes de province à partir de Paris

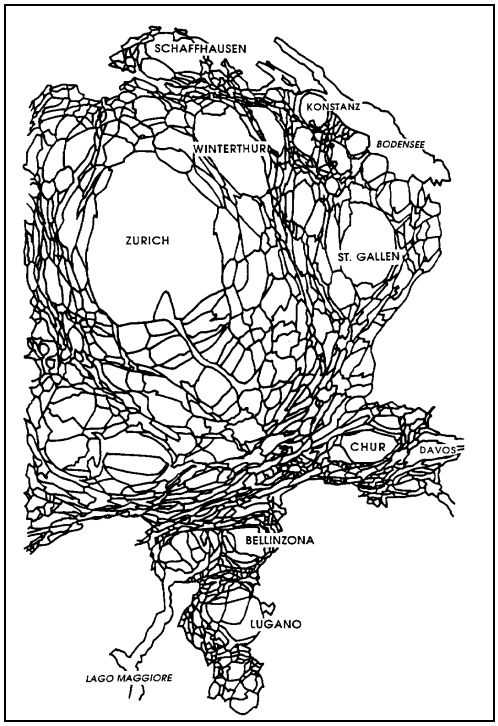
Les anamorphoses dites rayonnantes (fig. 25) et polygonales (fig. 26) connaissent un emploi d'autant plus rare que leur méthode d'élaboration est complexe[5].



Source: S. Rimbert, Carto-graphies, Hermès, 1990

Fig. 25 : Anamorphose ou cartogramme dit rayonnant. Les surfaces de 48 Etats des Etats-Unis sont exprimées par des secteurs proportionnels. Le centre des fragments de circonférences qui les bordent est situé dans l'Etat de Pennsylvanie (P), figuré par un cercle. Ce cartogramme est conçu par Arthur Getis. Il est ici redessiné d'après une illustration de *Theoretical Geography* de W. Bunge. (C : Californie, T : Texas, F : Floride, M : Maine)

[5] A savoir que certains auteurs les qualifient de cartogrammes

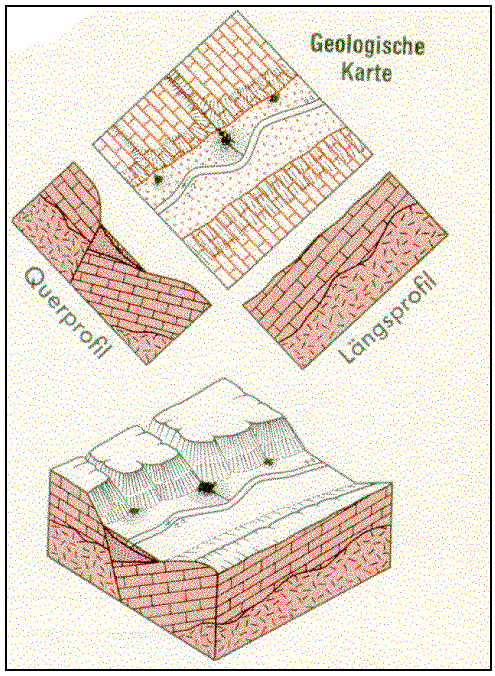


Source: S. Rimbert, Carto-graphies, Hermès, 1990

Fig. 26 : Anamorphose polygonale représentant la population helvétique par commune en 1980

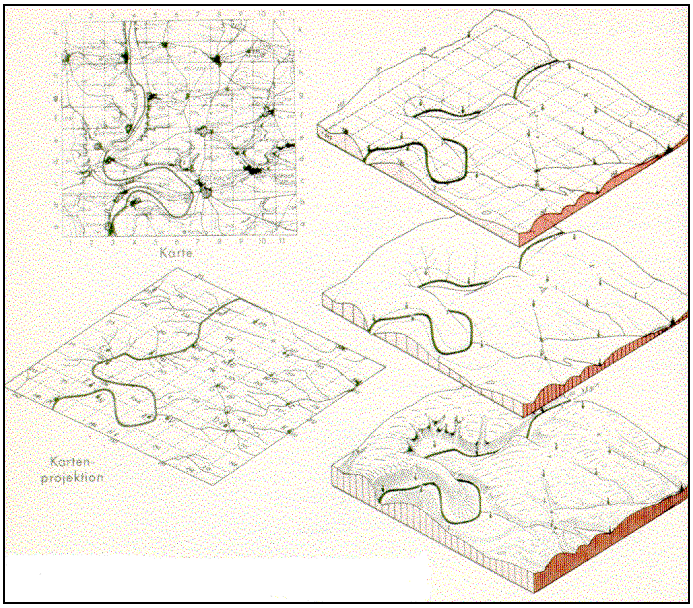
▪ Le bloc-diagramme

Il s'agit de la représentation d'un relief tridimensionnel par un dessin, généralement perspectif, ou calcul numérique montrant deux profils topographiques se coupant à angle droit, avec ou sans profil géologique (fig. 27 et 28)



Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981

Fig. 27 :Bloc-diagramme avec profil géologique



Source: H. Wilhelmy, Kartographie in Stichworten, Hirt, 1981
Fig. 28 : Phases de réalisation d'un bloc-diagramme

- **Le Modèle Numérique de terrain (MNT)**

  Il s'agit de la représentation en relief (par exemple sous forme de blocs-diagrammes) sur la base de cartes altitudinales numériques en mode image (le compte numérique du pixel est l'altitude) ou en mode objet (chaque point coté est le sommet d'un triangle).

B. Exercice: différencier cartes et cartogrammes

1. Pour les huit départements Midi-Pyrénées, réaliser un carto-diagramme représentant la population en 1936, 1975 et 1990 (utiliser les fig. 124 et 125, chapitre 16 : fond de carte et le tableau de données).
2. Le carto-diagramme réalisé, vous paraît-il efficace ? Sinon, comment exprimer cartographiquement l'information de manière plus efficace ?
3. Anamorphoses : approfondir le sujet par lecture. Au choix :

- BRUNET (1987), pp.102-104 (chapitre34 dédié aux anamorphoses)
- RIMBERT(1990), pp.46-58
- BAVOUX et al (1998) , pp.10-13

3. Avantages de l'expression (carto-)graphique

A. Sémiologie graphique – notions de base

La cartographie est d'abord une forme d'expression graphique. Par rapport à d'autres formes d'expression comme le langage écrit ou la mathématique, la graphique a l'avantage d'utiliser deux, voire trois dimensions pour véhiculer son message. De ce point de vue elle est prédestinée pour représenter les phénomènes spatiaux complexes.

Exprimer graphiquement une information a de multiples avantages par rapport aux autres formes de représentation. A l'aspect séducteur (perception et symbolique des couleurs, ...) et à l'efficacité (le temps nécessaire à la perception) s'ajoute la possibilité d'exprimer ainsi une complexité d'information dont la plupart des autres systèmes de signes ne sont pas capables. Afin de tirer le meilleur profit du langage (carto-)graphique, il faut connaître les règles élémentaires de la sémiologie graphique. Leur apprentissage n'est pas un but en soi ; au contraire, il s'agit d'un mode d'emploi pratique pour optimiser l'efficacité de la traduction graphique d'une information donnée. La maîtrise sémiologique vise, outre un gain de temps en perception, une perte d'information minimale lors de la transcription d'un système de signes vers un autre ainsi qu'un choix conscient de la construction adaptée aux objectifs de la représentation.
Les règles qui régissent l'emploi efficace de la représentation graphique ont été établies et théorisées durant les années 1960, notamment par Jacques BERTIN[6]

La représentation graphique fait partie des systèmes de signes que l'homme a construits pour:

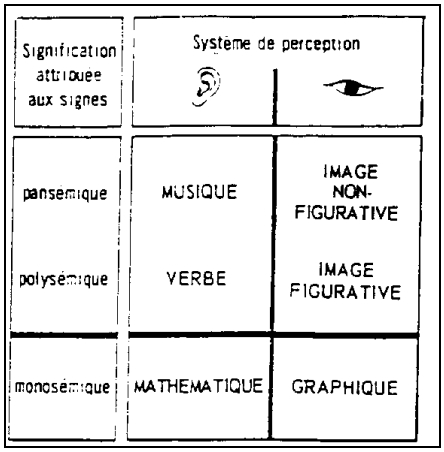
- retenir / mémoriser
- comprendre / analyser
- communiquer

des informations. La graphique est donc un langage codé qui s'adresse à l'œil comme des images au sens large du terme. Selon BERTIN et d'autres auteurs, la graphique est l'ensemble **des images rationnelles** qui, selon leur imposition (signification attribuée aux deux axes du plan), se divisent en : diagrammes, réseaux, cartes / productions cartographiques et symboles.

La perception des signes de communication employés par l'homme permet de classer ces systèmes de signes selon deux critères (fig. 29) :

- l'organe de perception
- la signification de la perception

[6] . Ce chapitre s'inspire en grande partie de son excellent ouvrage intitulé *Sémiologie graphique* (1973).



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973

Fig. 29 : Système de perception et signification des signes perçus

Ainsi la musique, le langage parlé (y inclus les signes mathématiques) s'adressent à l'ouïe tandis que les images s'adressent à l'œil. Leur signification peut être monosémique, polysémique ou pansémique.

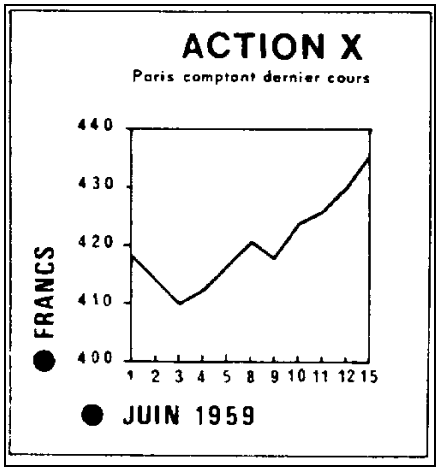
Pour les signes **monosémiques** la connaissance de la signification de chaque signe précède l'observation et l'assemblage des signes.
Exemple: une équation ne se conçoit qu'une fois précisée l'unique signification de chaque signe. Une carte ne se comprend qu'une fois précisée sa légende.

Dans un système **polysémique** la signification succède à l'observation. Elle se déduit de l'assemblage des signes. Par conséquent, la signification est personnalisée et devient discutable. La perception dépend du récepteur, de sa formation et de son environnement culturel.
Exemple: une image figurative ou une photographie aérienne. Il subsiste toujours une certaine ambiguïté: que signifie cette forme, cette tache ?

Les signes **pansémiques** sont une forme extrême de la polysémie. La signification est entièrement subjective.
Exemple: une image non figurative ou la musique.

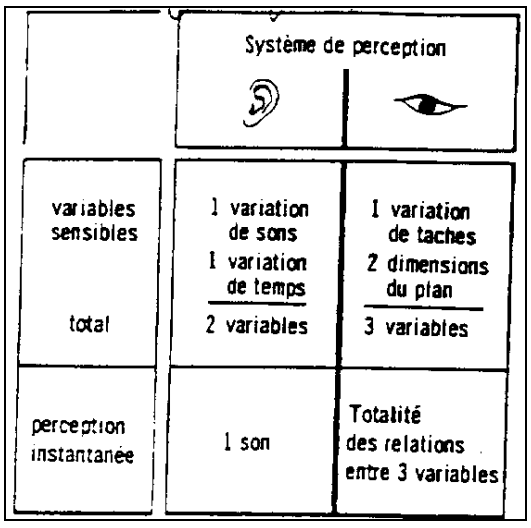
Ainsi dans un système polysémique ou pansémique le travail de lecture se situe entre le signe et sa signification.
Dans un système monosémique le travail de lecture se situe entre les significations des signes dont le sens est défini d'avance.
L'avantage de la monosémie pour l'expression scientifique réside dans son caractère intersubjectif : dans un domaine donné et pour un moment donné tous les participants s'accordent sur certaines significations exprimées par certains signes. Cette signification des signes devient indiscutable, univoque. Sur cette base conventionnelle on peut discuter de l'assemblage des signes et en déduire certaines évidences rationnelles. C'est le domaine de la mathématique et de la graphique.

Exemple: Il est indiscutable que le cours de l'action X (fig. 30) monte pendant la période traitée.



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973
Fig. 30 : Action X

La graphique se distingue fondamentalement des écritures musicales, verbales ou mathématiques dont la perception est linéaire, successive dans le temps. La fig. 31 montre ces différences de dimensionalité liées à la perception par l'œil ou par l'oui e. Ainsi la transcription scripturale de la musique, du verbe ou des mathématiques n'est qu'une formule de mémorisation de systèmes sonores. Ces transcriptions n'échappent pas au caractère linéaire et temporel de la perception.



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973
Fig. 31 : La dimensionalité de la perception

La perception visuelle par contre dispose de trois dimensions sensibles:

- deux dimensions du plan
- une variation de taches (couleur, formes, ...)

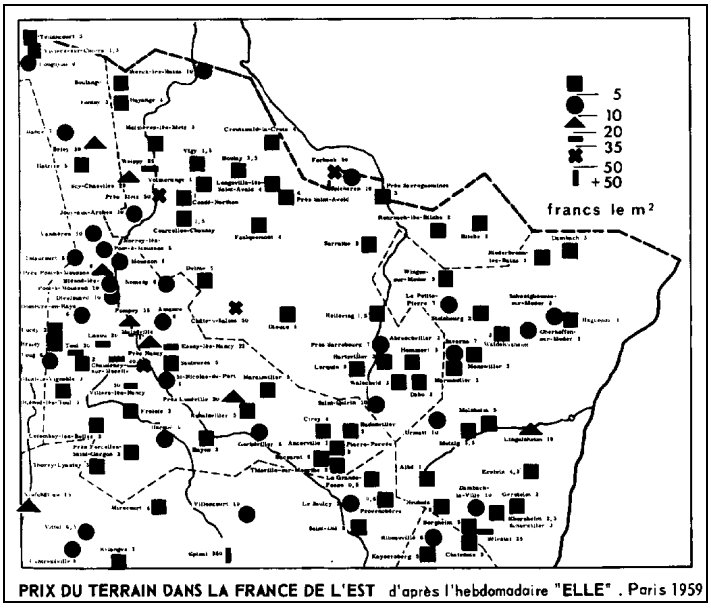
L'ensemble des trois variables peut être perçu instantanément. La construction graphique forme alors une **image**.

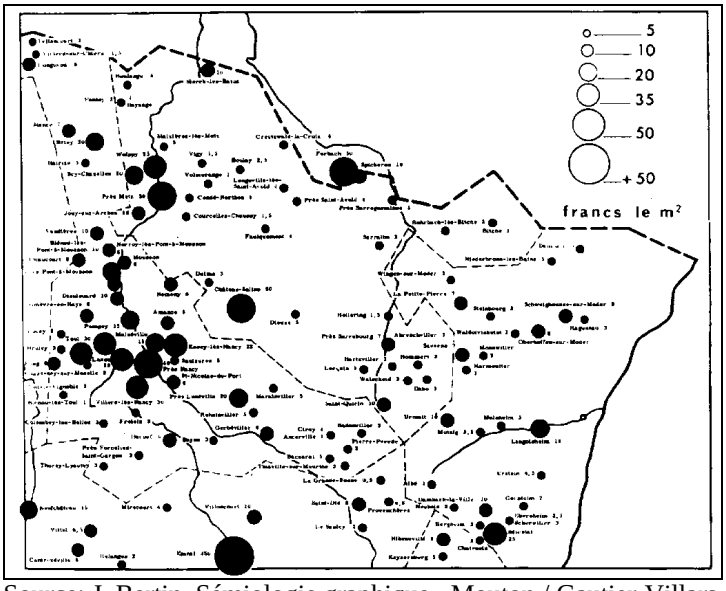
Utiliser au mieux cette puissance de la perception visuelle dans le cadre d'un raisonnement logique est l'objet de la graphique.

Il faut se rappeler que toute pensée ne se communique qu'à travers de signes. La mimique est une codification naturelle / culturelle. La représentation graphique est un système de transcription de l'information qui est codé, dont l'usage s'apprend tout comme le langage verbal. La représentation graphique est une branche de la sémiologie, science qui traite de tous les systèmes de signes.

B. Des cartes et des graphiques à lire et … à voir: la recherche de l'image

<u>Exemple n° 1:</u> le prix de terrain dans l'Est de la France (fig. 32 et 33)





Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973

Fig. 32 et 33 : Le prix de terrain dans l'Est de la France

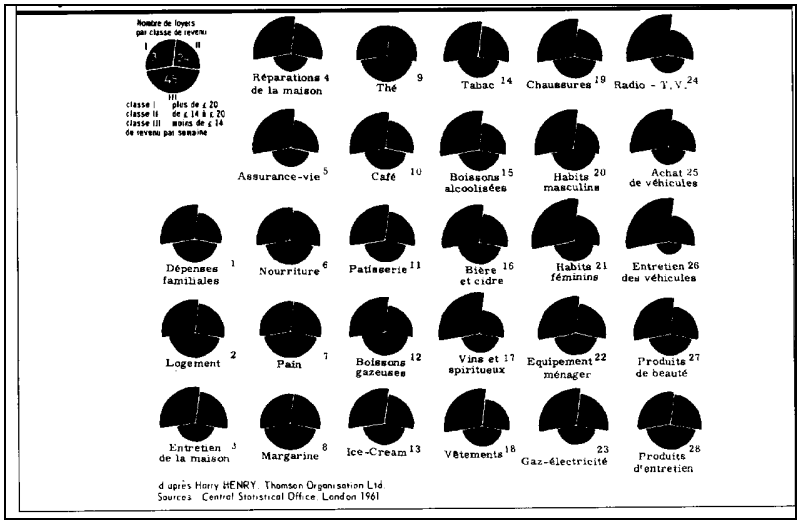
La comparaison des deux cartes montre clairement que l'une est à lire et l'autre à voir.
La fig. 32 n'apporte guère d'avantages par rapport au tableau chiffré : certes elle localise les valeurs mais le gain d'information reste très limité. En la regardant on est obligé de faire des navettes entre la carte et la légende. La carte manque son objectif de fournir <u>rapidement</u> une information globale sur le prix du terrain dans la région.
La fig. 33, au contraire, vous donne une image de la répartition spatiale de la variable étudiée. A l'intérieur de la carte, les gradients existent et sont perçus intuitivement (sans recours à la légende) et instantanément (image). La légende ne sert qu'à chiffrer ce qui est manifestement ordonné : le prix du terrain.
Pour comprendre les différences entre les deux réalisations, il convient de :

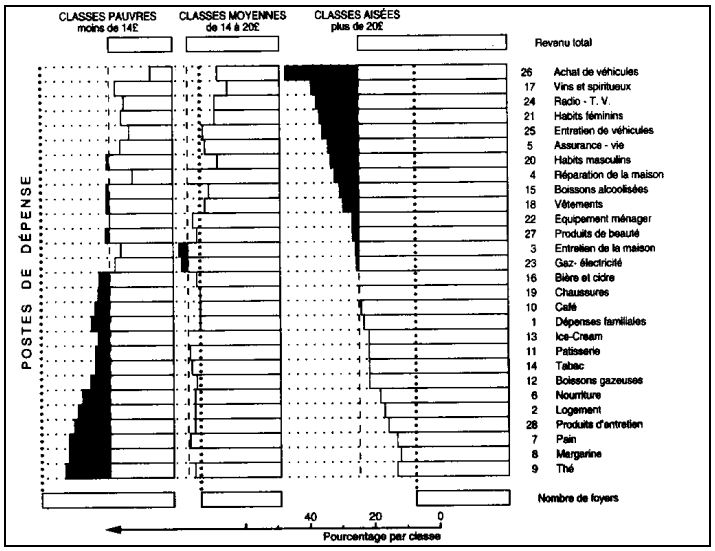
- procéder à une analyse de l'information (cf. chapitres 8 et 9)
- examiner par quels moyens graphiques l'information a été traduite en carte (cf. chapitres 4 et 5)

➔ Analyse de l'information :
Les deux cartes expriment deux concepts variables (ce qui change d'un endroit à un autre dans le plan): la localisation géographique et la variation du prix de terrain (la composante thématique). La variation du prix étant exprimée par six classes (sa longueur): la composante est ordonnée.

➔ Traduction géographique :
La composante géographique (l'espace géographique), définie par ses coordonnées géographiques ou cartographiques, mobilise les deux axes du plan de la carte (abscisse et ordonnée).
La différence entre les deux cartes est liée à la traduction graphique de la composante thématique : la fig. 32 exprime la variation du prix par la variation de la **forme**, la fig. 33 par la variation de la **taille**. Manifestement la forme n'est pas en mesure de rendre le niveau ordonné de la composante de l'information. La taille l'est et le lecteur obtient rapidement une réponse quel que soit le niveau de sa question : élémentaire (quel prix à tel endroit ?), moyen (comparaisons, tendances, subdivisions) ou supérieur (tendance générale : plus cher à l'ouest qu'à l'est).

<u>Exemple n° 2 :</u> Postes de dépense et revenu disponible au Royaume Uni (fig. 34 et 35)





Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973

Fig. 34 et 35 : Comparaison des postes de dépense suivant les classes de population dans le Royaume-Uni en 1960

Tout comme l'exemple précédent, la comparaison des deux diagrammes montre clairement l'inefficacité de la première construction (rapport défavorable entre l'investissement en temps nécessaire à la réalisation de la figure 34 et le gain en perception par rapport au tableau chiffré).

➔ Analyse de l'information :
L'information est composée de trois concepts variables :

- La part (en %, niveau statistique quantitatif) d'argent dépensé par
- classe de revenu (3 classes, niveau statistique ordonné) pour
- différents postes de dépense (28 catégories, niveau statistique qualitatif)

➔ Traduction graphique

La fig. 34 exprime chaque poste de dépense par un diagramme circulaire (le camembert). La part dépensée par chaque classe (parts du camembert) est exprimée par la taille des parts. L'ensemble est parfaitement illisible. Chaque camembert forme, pour lui tout seul, une image (perception instantanée de l'information exprimée). L'ensemble est une figuration. Le lecteur ne trouve pas de réponse instantanée à une question simple du type :

Pour quel poste la classe moyenne dépense-t-elle le plus? (Réponse : poste 3 entretien de la maison)

Pour répondre à la question il faut lire, mémoriser et comparer 28 images.

La fig. 35 exprime la même information dans un diagramme orthogonal (les deux axes, exprimant chacun une composante, forment un angle droit). Au choix de la construction s'ajoute le traitement de l'information : la composante qualitative a été ordonnée selon les deux autres pour faire ressortir

les corrélations (niveau le lecture ou d'interrogation plus élevé). Ceci amène à une figure visuellement plus simple. On appelle ce traitement la diagonalisation (cf. chapitre 11). La construction d'ensemble forme une image :

- l'ordonnée exprime les 28 postes de dépense
- l'abscisse les trois classes de revenus (juxtaposition)
- l'abscisse exprime également la part dépensée par chaque classe de revenu (longueur du bâton). Une différence de valeur (noir/blanc) fait ressortir les dépenses supérieures à la moyenne par classe, tous postes de dépense confondus.

Le lecteur trouve facilement la réponse à la question (élémentaire) ci-dessus mais également à des questions d'ordre supérieur : *est-ce que le comportement des consommateurs est fonction de leurs revenus ? Si oui, quelle est cette fonction ?*? Le diagramme diagonalisé fournit les réponses instantanément .

C. Comment procéder ?

L'analyse des exemples précédents ainsi que la théorie de la sémiologie graphique suggèrent une sorte de mode d'emploi pratique menant, en plusieurs étapes, de l'information brute à la ou les traductions (carto-)graphiques les plus « efficaces ». L'efficacité étant une notion complexe, il convient de décomposer ce terme. Elle dépend, comme nous venons de le constater, du temps nécessaire à la perception (le temps nécessaire pour trouver la réponse à une question posée). A cela s'ajoutent d'autres facteurs comme, par exemple, l'objectif (privilégié) et la nécessité d'un traitement préalable de l'information (discrétisation).

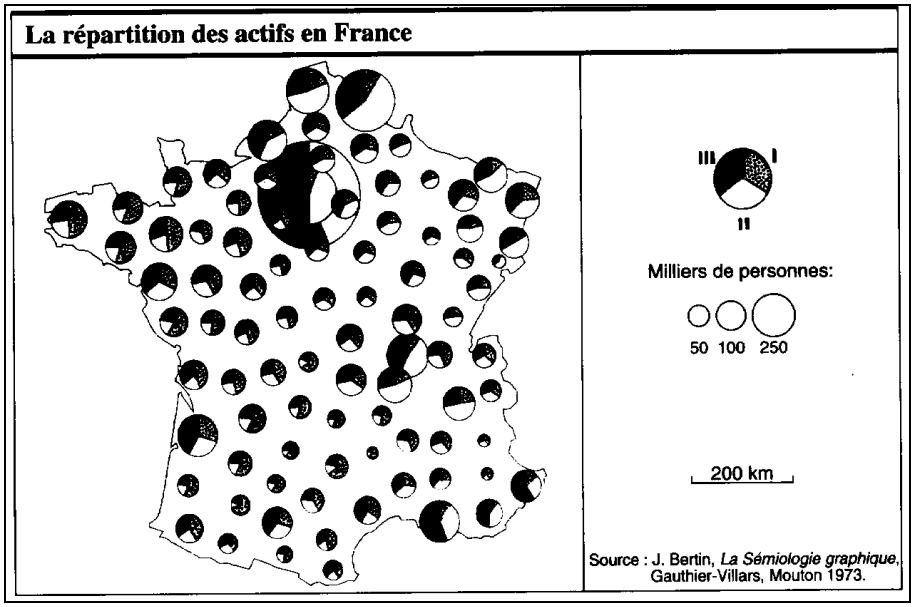
Ci-dessous un schéma général pour cartographier son information :

➔ Connaissance des moyens d'expression graphique (*chapitres 4 et 5*)
➔ Respect des règles de l'expression graphique : conventions et lisibilité (*chapitres 6 et 7*)
➔ Analyse de l'information : nombre et niveau statistique des composantes et choix du type de construction et des variables graphiques adaptés (*chapitres 8 et 9*)
➔ Traitement de l'information : la construction de l'image pour la communication de l'information nécessite souvent la réduction de l'information en classes sans pour autant dénaturer l'information originale (*chapitres 10 et 11*)
➔ Orientation du graphique en fonction de l'objectif : hiérarchiser l'information communiquée et orienter le lecteur (*chapitre 12*)

D. Exercice: des cartes à lire et à voir

Questions :

1. Donner une définition de la monosémie
2. Pourquoi est-il plus facile de percevoir une information spatialisée sous forme de cartes que sous forme de tableau ?
   Argumenter en prenant appui sur un exemple concret : la population active (% de la population totale) par département français.
3. Analyser l'efficacité de la fig. 36 ! A quel type de question et à quel niveau de question (lecture) répond-elle ?



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973

Fig. 36 : La répartition des actifs en France

4. Les moyens d'expression graphique (I): Variables graphiques

A. Les variables graphiques et leur implantation

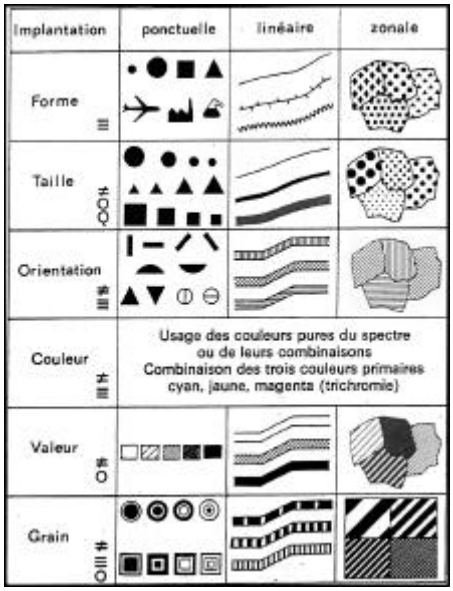
L'expression graphique est la variation de taches dans un espace bidimensionnel [7].
Au total on dispose de 8 variables graphiques:

- 2 dimensions du plan (position de la tache)
- 6 variables **rétiniennes**: taille, valeur, grain, couleur, orientation, forme

Le plan est le support de tout graphique. Ses deux dimensions peuvent exprimer:

- deux composantes pour un diagramme (cf. fig. 30)
- une composante (géographique) pour une carte; la localisation géographique étant assurée par un référentiel cartésien (latitude/longitude, coordonnées cartographiques x/y,…).

L'implantation des variables rétiniennes peut être ponctuelle, linéaire ou zonale (fig. 37). On appelle **implantation** la dimensionalité qu'une tache peut avoir dans le plan bidimensionnel. Autrement dit: dans un espace bidimensionnel on peut avoir des objets à zéro (point), une (ligne) ou deux (surfaces) dimensions.



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973
Fig. 37 : Variables rétiniennes et implantations

[7] Ce schéma est valable pour les graphiques et les cartes classiques en deux dimensions. Pour les représentations en trois dimensions, il y a un axe du plan supplémentaire. Une autre possibilité d'enrichir l'outillage graphique consiste à enchaîner des images fixes (principe du film).

Variables rétiniennes et texture / structure:

La texture est une forme basique répétée afin de couvrir une surface (point et trait notamment). La structure est l'agencement ou la répartition de la texture (cf. fig. 40). La définition cartographique de ces deux termes étant proche de celle employée en photo-interprétation[8].

B. Les propriétés des variables rétiniennes

*Variation de la **taille***

La variation de la taille est la différence de longueur, de surface ou de volume entre objets. Rappelons que la taille peut varier par:

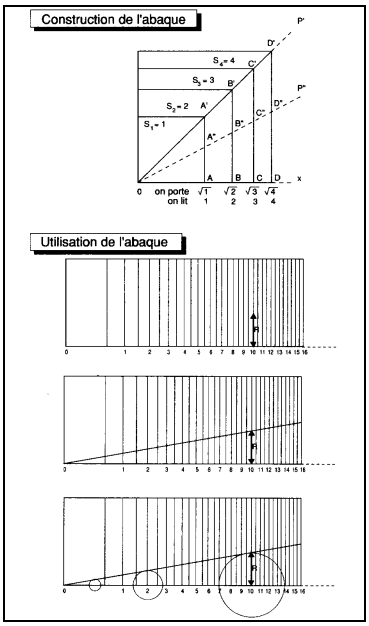
- la différence de taille des signes ou
- le nombre de signes de taille égale.

La variation de la taille est le seul moyen d'exprimer, sans discrétisation et par conséquent perte d'information, des quantités. Dans son implantation la plus usuelle (l'implantation ponctuelle), elle sert à l'expression de quantités absolues[9] (exemple: nombre d'habitants).
Si on vise une perception sélective, c'est-à-dire la possibilité pour le lecteur de différencier aisément les tailles employées, il est conseillé de ne pas dépasser 4 à 5 classes.
Pour la variation de la taille en implantation ponctuelle, il faut veiller à ce que les signes occupent une surface proportionnelle à la quantité[10]. Pour cela la dimension de base (rayon, côté) doit être proportionnelle non aux quantités elles-mêmes mais à leurs racines carrées.

"Autrement, un carré ou un cercle représentant deux fois plus serait en réalité quatre fois plus grand que l'autre. Cette règle de base ne souffre aucune exception." (BRUNET, 1987).

L'abaque dit de César intègre ce principe par son abscisse graduée à la racine carrée des nombres (fig. 38).

[8] A noter que certains auteurs considèrent la texture et la structure comme variables rétiniennes à part entière.
[9] appelées aussi des masses ou quantités dépendantes
[10] raison de plus pour choisir des signes aussi simples que possibles: le cercle ou le carré



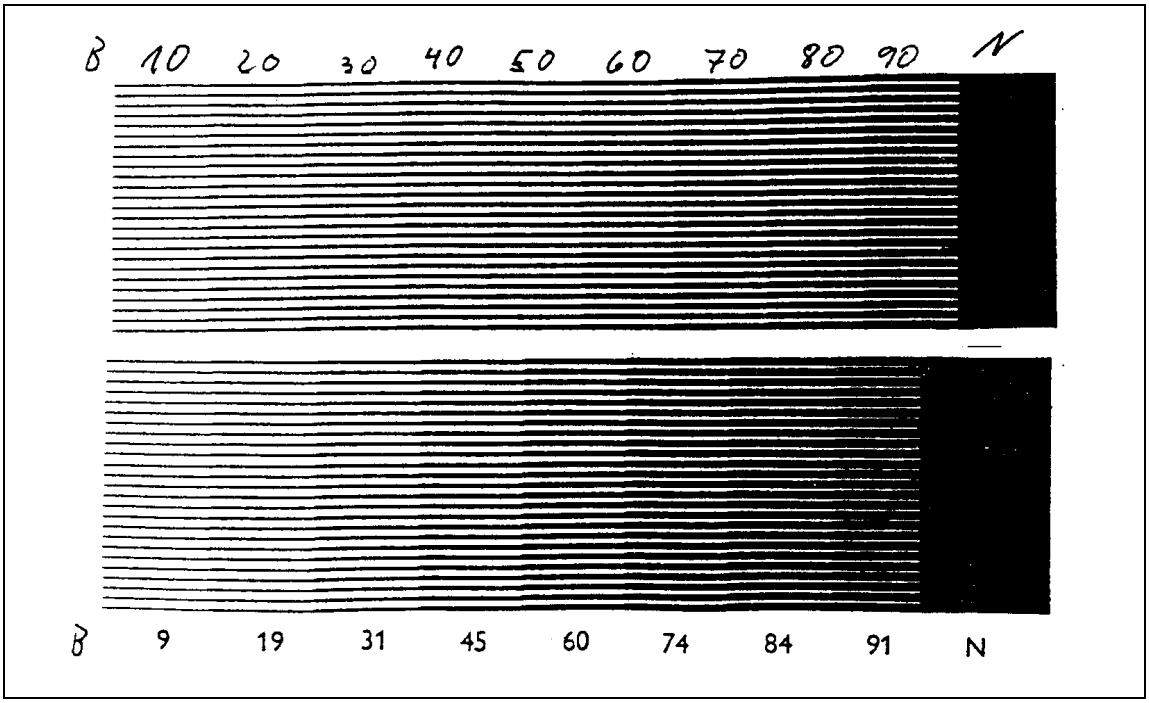
Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 38 : L'abaque de César

Cette règle s'applique aussi aux volumes, généralement représentées par des cubes. La différence de quantité est proportionnelle au volume !

*Variation de la **valeur***

Il s'agit de la progression continue dans la suite des gris qui s'échelonnent du blanc au noir (ou du noir au blanc). Selon la "couleur" employée et celle du papier (fond), la longueur graphique entre les deux extrêmes est variable. Ainsi l'utilisation d'un papier couleur raccourcit la gamme des valeurs[11]
Rappelons que le rapport N/B est indépendant de la couleur. Toutes les couleurs ont des tons de saturation ayant la même valeur.
En perception sélective il convient de ne pas dépasser 6-7 paliers.
Il est important de savoir que notre faculté de perception des valeurs n'est pas linéaire. La partie supérieure de la fig. 39 montre une progression linéaire (paliers de 10%) vers le noir. On constate une mauvaise séparation visuelle des paliers moyens. La suite du bas s'appuie sur une progression établie empiriquement.

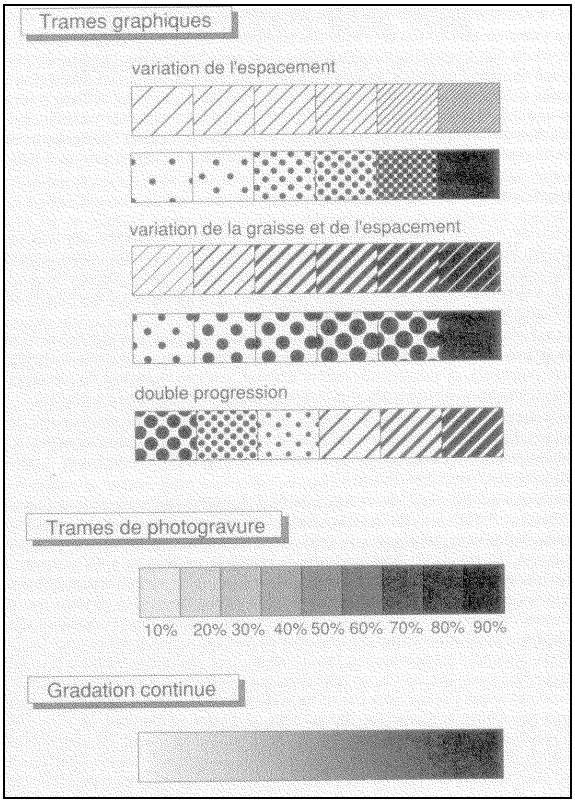
[11] une photocopie noir et blanc suffit pour vérifier ce constat



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973

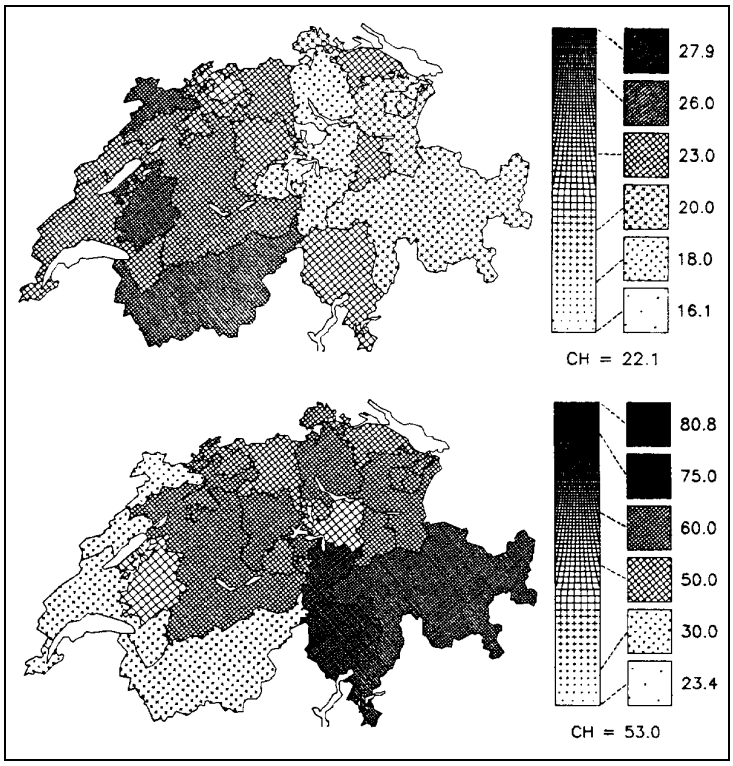
Fig. 39 : Gradation de la valeur : progression linéaire et progression logarithmique corrigée

Les moyens de variation de la valeur sont multiples: graisse, écartement, trames ou toute la texture (fig. 40). La variation peut être également continue (fig. 41) et permet ainsi la représentation des taux sans discrétisation préalable.


Trames graphiques
variation de l'espacement
variation de la graisse et de l'espacement
double progression
Trames de photogravure
10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90%
Gradation continue

Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994

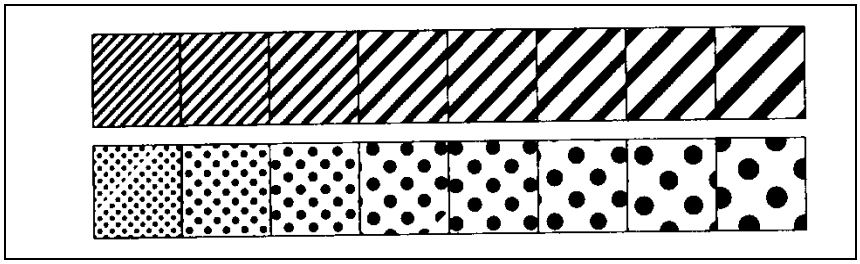
Fig. 40 : Moyens de variation de la valeur



Source: R. Brunet, La carte, mode d'emploi, Fayard / reclus, 1987
Fig. 41 : Exemple de gradation continue de la valeur

*Variation du **grain***

Le grain est la quantité de taches séparables par unité de surface et ceci pour une valeur donnée (fig. 42). Toute valeur à l'exception des valeurs extrêmes (blanc et noir) peut varier de grain. La variation du grain est obtenu par agrandissement ou réduction d'une texture - structure.



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 42 : Variation de grain

Le nombre de paliers de grain perceptibles par l'œil augmente avec la surface grenée. Par conséquent, la limite perceptible donnée par les entités spatiales les plus petites.
Attention aux réductions par photocopie: un grain fin réduit à tendance à s'apparenter à une trame de photogravure.

*Variation de la **couleur***

La couleur est une excellante variable sélective, facilement mémorisée. Sa connotation psychologique et symbolique résulte de la perception quasi universelle de certains phénomènes, la rend très attractive et la dote d'une capacité pédagogique. En combinaison avec d'autres variables rétiniennes, même si celles-ci offrent un niveau de perception supérieur, la couleur domine le graphique.
Dans la pratique on utilise rarement des couleurs pures (n'offrant pas de perception ordonnée !) mais un **camaï eu,** c'est-à-dire une progression de tons d'une couleur (du bleu clair au bleu foncé par exemple). Par conséquent, il s'agit d'un **mélange de deux variables rétiniennes : couleur + valeur**.
En perception sélective il convient de ne pas dépasser 5 à 6 paliers. En progression linéaire, on va du ton clair vers un ton saturé. En double progression (cartes d'évolution), on peut faire varier le ton de deux couleurs distinctes dont la valeur augmente vers les extrêmes ou diviser l'arc-en-ciel à partir du jaune vers les rayons courts (vert -> bleu -> violet) et vers les rayons plus longs (orange -> rouge).

La connotation symbolique voire psychologique de certaines couleurs est absolument à respecter:

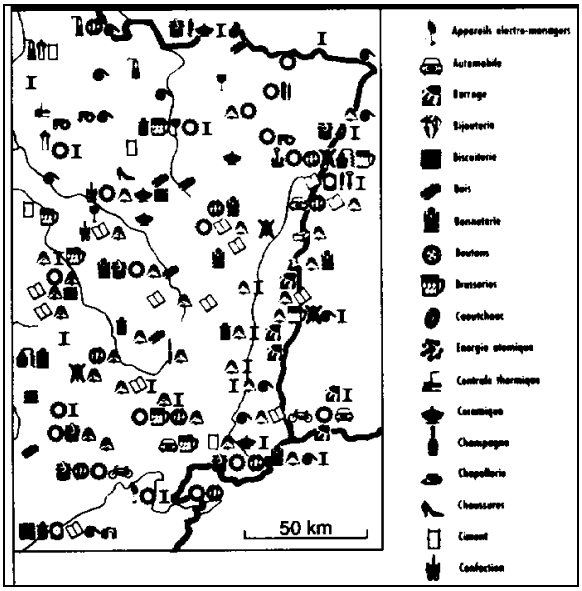
- Rouge: chaud, croissance, danger, flatteur, couleur qui « ressort « bien
- Bleu: froid, baisse, eau
- Jaune: sécheresse
- Vert: végétation, reposant

*Variation de l'**orientation***

Un signe ponctuel peut prendre une infinité d'orientations sans que son centre ne change de position.
En implantation ponctuelle il est conseillé de se limiter à quatre orientations et d'utiliser plutôt les obliques à 30° et à 60° qu'à 45°. En implantation linéaire il est difficile de séparer visuellement davantage que deux orientations: parallèle et perpendiculaire à l'axe de la ligne.
L'orientation joue un rôle important dans la représentation de distributions spatiales, des dynamiques spatiales (flux) et temporelles (progression/recul) ou encore dans les cartes-modèle.

*Variation de la **forme***

Il y a une infinité de formes d'une surface donnée. Sa variation est associative et seule l'image de la densité des signes toutes catégories confondues est significative. Par conséquent, la forme n'est utilisable qu'en lecture élémentaire et sert à dresser des cartes d'inventaire (fig. 43).



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993
Fig. 43 : L'industrie dans le Nord-Est de la France en 1965

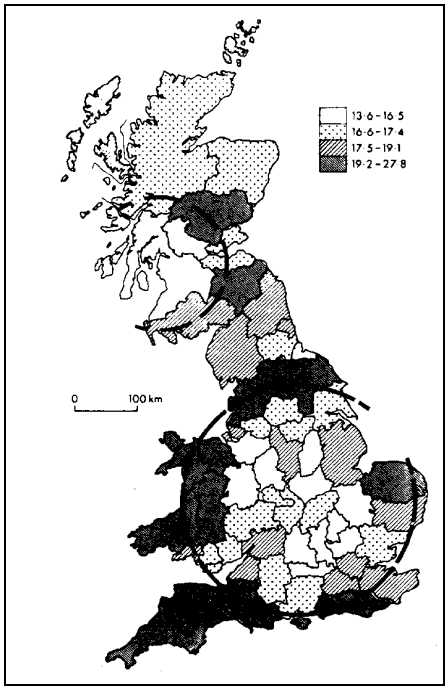
Les limites de perception esquissées peuvent être, dans une certaine mesure, dépassées en jouant sur la symbolique de la forme: ainsi un cercle sur une carte fait recourir à la légende. Une forme plus évocatrice peut en dispenser. Toutefois le caractère équivoque de la forme pose problème: la tête d'un cheval signifie-t-elle champ de course, écurie, manège, parcours équestre, journal des courses, jeu d'échecs ... ou boucherie chevaline?
Une forme évocatrice rend la lecture de la carte plus intuitive ... à condition d'être univoque (signes conventionnels, fig. 44).

Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 44 : La forme : formes géométriques, symboliques et signes conventionnels

C. Exercice: Les variables rétiniennes et leur implantation

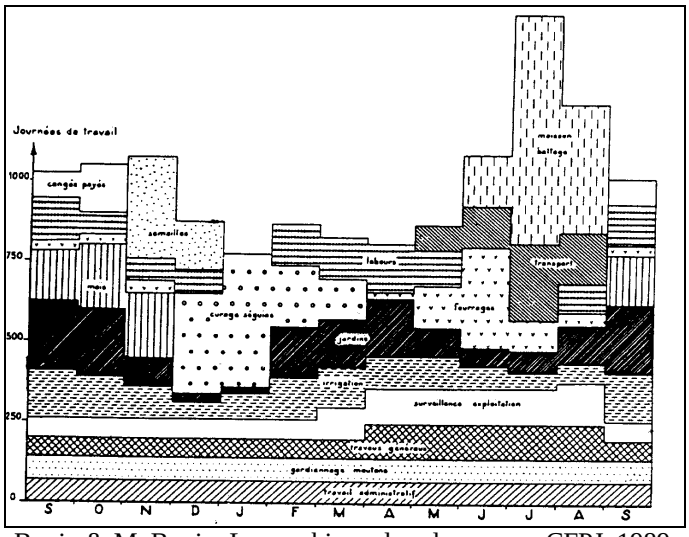
1. Indiquer la différence entre grain et valeur !
2. Indiquer variables rétiniennes et implantations

a) fig. 45
b) fig. 46



Source: R. Brunet, La carte, mode d'emploi, Fayard / reclus, 1987

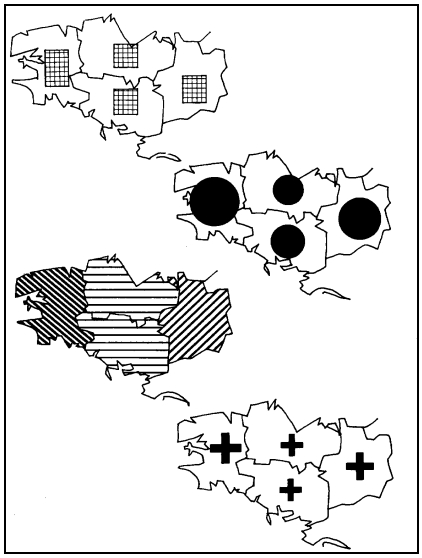
Fig. 45 : Retraites britanniques. La distribution des retraites en Grande-Bretagne, en pourcentage de la population totale de 1981 : une organisation auréolaire double, la principale structure étant centrée sur Londres, la seconde sur Glasgow. AM. Warnes et C.M. Law, *Transactions of the Institute of British Geographers* 1984 n°1.



Source: S. Bonin & M. Bonin, La graphique dans la presse, CFPJ, 1989

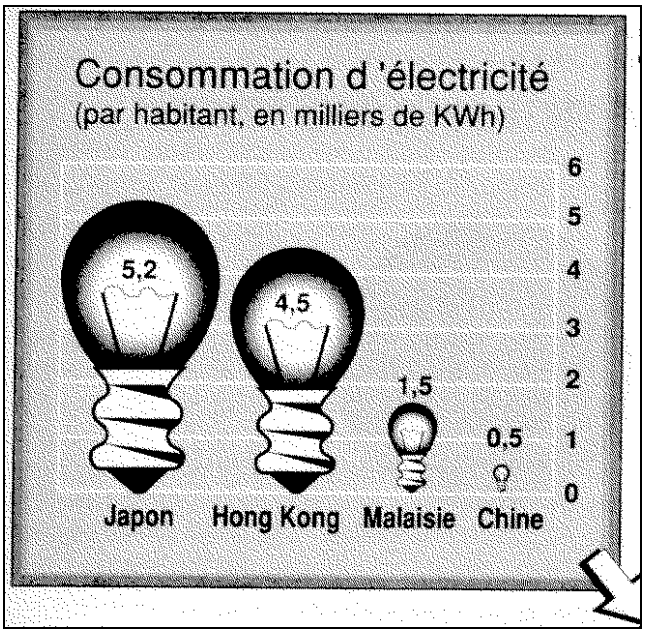
Fig. 46 : Domaine agricole autogéré en Algérie en 1975

3. Fig. 47: Indiquer les variables rétiniennes et leur implantation. Classer les cartes dans l'ordre décroissant d'efficacité. Comment expliquer les différences d'efficacité?



Source: A. André, L'expression graphique : cartes et diagrammes, Masson, 1980
Fig. 47 : Quatre représentations de la population bretonne

4. Analyser la fig. 48 et proposer, le cas échéant, des améliorations.



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 48 : Consommation d'électricité

5. Les moyens d'expression graphique (II): Imposition et perception

A. L'utilisation du plan – imposition / les types d'imposition (diagramme)

On appelle imposition l'utilisation des deux dimensions du plan. On distingue entre diagramme, réseau, carte et symbole[12] .

Le **diagramme:** les correspondances s'établissent dans le plan entre
- toutes les divisions d'une composante et
- toutes les divisions d'une autre composante (cf. fig. 30)

Le **réseau:** les correspondances s'établissent dans le plan entre
- toutes les divisions de la même composante (cf. fig. 49)

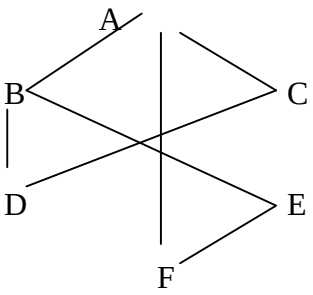


Fig. 49 : réseau représentant des communications entre 6 individus

La **carte:** les correspondances s'établissent dans le plan entre
- toutes les divisions d'une composante disposée selon
- l'ordre géographique (référentiel de localisation)

Le **symbole:** la correspondance ne s'établit pas dans le plan mais entre
- un seul élément du plan et le lecteur

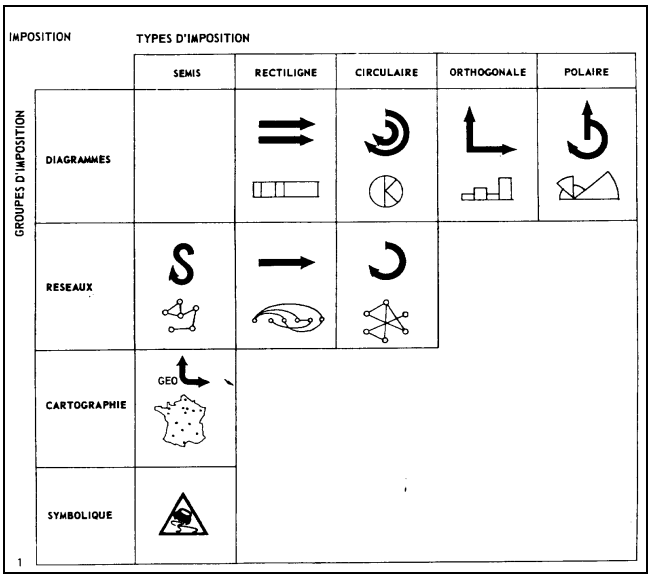
La correspondance est alors extérieure à la représentation graphique.
Il convient de distinguer entre symboles conventionnels et symboles usuels (cf. fig. 44).

[12] Ces quatre impositions forment, selon BERTIN (1973), la famille des graphiques rationnelles.

Les types d'imposition

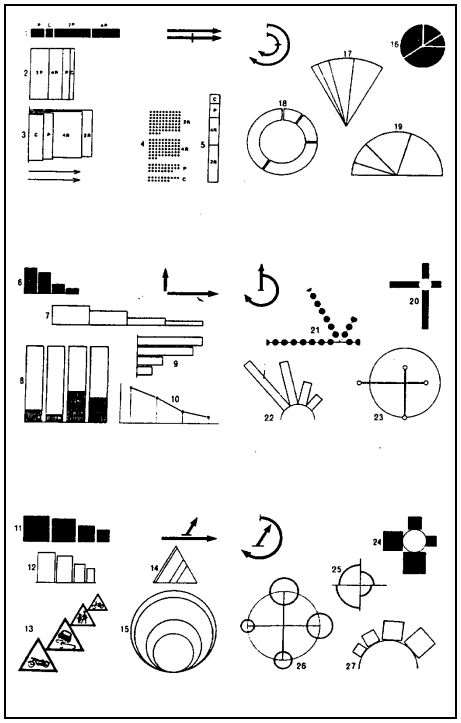
Contrairement à la carte où tous les éléments sont agencés dans l'ordre géographique (type d'imposition: semis), la réalisation de réseaux et notamment de diagrammes donne une certaine liberté de construction (fig. 50):

- réseau: semis, forme rectiligne et circulaire
- diagramme: semis, rectiligne, circulaire, orthogonale et polaire.



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973

Fig. 50 : Types d'imposition



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973

Fig. 51 : Principaux types de construction d'un diagramme

Ces types d'imposition sont illustrés par la fig. 51:

N° dessin	Type d'imposition - fig. 51
1-5	Construction **rectiligne** ou **linéaire**. Un seul plan exprime les deux composantes
6-10	Construction **orthogonale**. Les deux dimensions sont utilisées. Il s'agit de la construction la plus habituelle offrant une perception visuelle facile. Sur un axe il y a les quantités, sur l'autre les catégories.
11-15	Construction à **élévation rectiligne** ou à **surface proportionnelle**. Il s'agit d'une version dérivée de la construction linéaire où la surface de chaque figure est proportionnelle aux quantités (11-13: juxtaposition, 14 et 15: superposition).
16-19	Construction **circulaire**. En incurvant la construction 1 on obtient la figure 18
20-23	Construction **polaire**. En incurvant la construction 6 en obtient la figure 20
24-27	Construction à **élévation circulaire**. En incurvant la construction 11 on obtient la figure 24 (disposition circulaire des surfaces proportionnelles)

B. La perception des variables rétiniennes

Les six variables rétiniennes n'offrent pas la même perception (cf. chapitre 3 – des cartes à lire et à voir). Autrement dit: l'aptitude d'expression des variables rétiniennes est inégale. A l'instar du niveau statistique des composantes de l'information, on parle du niveau de perception des variables rétiniennes. On distingue entre perception associative, sélective, ordonnée et quantitative.

- **Perception associative**: ≡

Une perception est dite associative si les catégories d'une variable rétinienne sont perçues semblables et la figure qui se dégage de leur ensemble homogène. Tel est le cas de la fig. 32 (variation de la forme en implantation ponctuelle). Dans le cas contraire, la variable rétinienne est dite dissociative (cf. fig. 33 – variation de la taille en implantation ponctuelle.

Grain, couleur, orientation et forme sont des variables rétiniennes associatives. Taille et valeur sont dissociatives.

- **Perception sélective** ≠

Une perception est dite sélective si on arrive à isoler spontanément une catégorie parmi toutes les autres catégories de la variable rétinienne. Autrement dit: la variable rétinienne est sélective s'il est permet d'extraire l'image partielle formée par une catégories parmi toutes.

Mises à part la forme et l'orientation en implantation zonale, toutes les variables rétiniennes sont sélectives. La perception sélective est utilisée pour extraire une catégorie d'information ou pour opposer des catégories.

- **Perception ordonnée O**

Une perception est dite ordonnée si on arrive à ordonner spontanément les catégories de signes sans faire appel à la légende.

Seuls le grain, la valeur et la taille sont ordonnés.
La perception ordonnée est utilisée pour comparer deux ou plusieurs catégories / classes d'une composante.

- **Perception quantitative Q**

Une perception est dite quantitative si on arrive à détecter spontanément des différences de quantités parmi les signes.

*Seule la **taille** est quantitative. La perception quantitative est utilisée pour établir un rapport mesurable entre les signes sans être obligé de lire la légende.*

La perception des variables rétiniennes possède - tout comme le niveau statistique des composantes - un caractère partiellement inclusif:

- une variable ordonnée est également sélective
- une variable quantitative est également ordonnée
- une variable sélective est associative (exception faite de la taille et de la valeur qui sont dissociatives)

C. Exercice: Imposition et perception

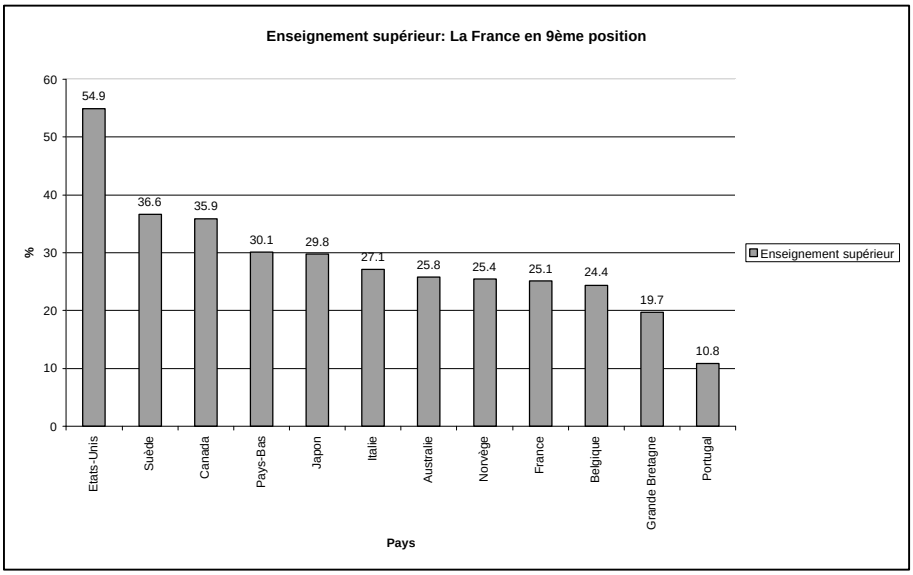
1. En utilisant la fig. 37, tester le niveau de perception des différentes variables rétiniennes selon leur implantation.

2. Pour l'information suivante, construire un diagramme à imposition: rectiligne, orthogonale et circulaire.

Information:

Pays	PIB en Euros
A	10 000
B	5 000
C	1 500
D	22 000

3. Fig. 52: Analyser et commenter le diagramme.



Source: S. Bonin & M. Bonin, La graphique dans la presse, CFPJ, 1989

Fig. 52 : Pourcentage de jeunes dans l'enseignement supérieur

6. Les règles d'expression graphique (I): L'identification et le plan

A. Identification du graphique: titraison et légende

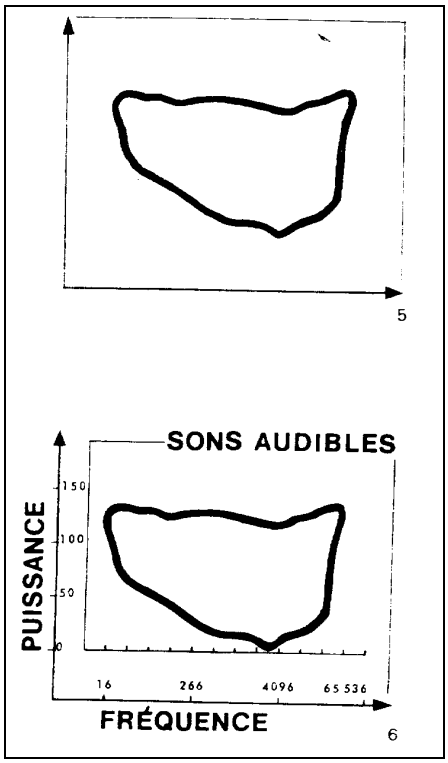
Le processus de lecture d'un graphique se décompose, schématiquement, en trois étapes:

- l'identification externe: la titraison - énoncé de l'information représentée
- l'identification interne: la légende - traduction graphique des composantes
- la perception des correspondances originales: le graphique proprement dit exprimant l'information

Identification externe

Le dessin à lui seul ne fournit pas tous les éléments nécessaires à l'identification (fig. 53). Pour identifier et comprendre le graphique il faut connaître:

- l'invariant: les sons audibles
- les composantes: fréquence (périodes/sec.) et puissance (en décibels)



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973
Fig. 53 : Les sons audibles

L'identification externe se fait via la **titraison**. Celle-ci consiste à énoncer l'invariant et toutes les composantes. Si cette énumération, qui doit être exhaustive, s'avère longue elle ne remplit plus le rôle d'un titre qui doit être concis, pertinent. En pareil cas on coiffe le titre d'un mot-clé: la vedette. Cette vedette résume brièvement l'identification externe (cf schéma fig. 54 et exemple fig. 55). La vedette puise dans des termes usuels pour des informations comparables (cours, bourse, action ...). Il en va de même pour coiffer un article de presse.
L'identification externe est complétée par l'indication de la **source** (auteur, ouvrage ...) et de la **publication** (date, lieu, éditeur).

VEDETTE
Invariant
- 1ère composante
- 2ème composante
- 3ème composante
-

Source: selon J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973 (modifié)
Fig. 54 : Titraison : vedette et titre

Action X
Bourse de Paris
à terme dernier cours
en Euros

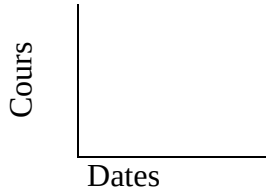


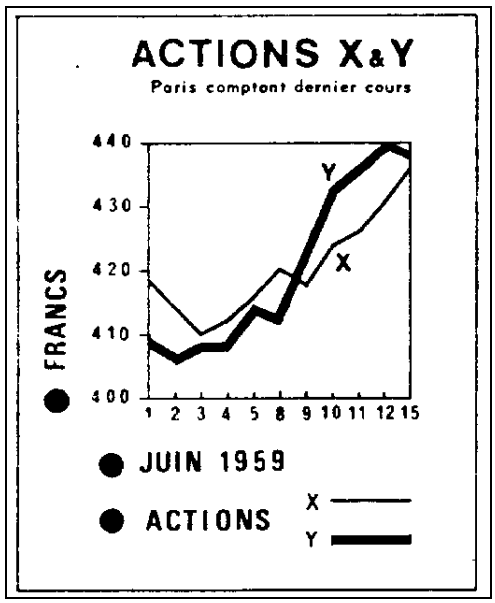
Fig. 55 : Exemple de titraison avec vedette

Identification interne

C'est la clé de lecture, sa légende: par quelles variables graphiques les composantes de l'information sont elles représentées?

- Les diagrammes

Dans le cas d'une construction simple, à deux composantes (cf. fig. 30), il suffit de nommer les deux dimensions du plan. Ainsi on lie l'identification externe et interne: le diagramme est graphiquement allégé.
S'il y a plus de deux composantes (pour les diagrammes!), il faut recourir à une variation visuelle dite de troisième dimension (variable rétinienne). Par conséquent, l'indication de la correspondance entre catégories de composante et de variable rétinienne s'impose: la légende (cf. fig. 56).



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gautier-Villars, 1973
Fig. 56 : Actions X et Y

- Les cartes :

Contrairement au diagramme où les deux dimensions du plan supportent chacune une composante, la carte mobilise les deux dimensions du plan pour une seule composante: la composante géographique servant à localiser des objets dans l'espace. La légende s'impose dès la seconde composante.

Perception des correspondances originales

Suite à la phase d'identification du graphique, le lecteur est en mesure de percevoir la série des correspondances originales que le dessin dégage parmi toutes les correspondances possibles. La fig. 30 montre le cours de l'action X. A chaque jour correspond une valeur. Il s'agit de la correspondance dite *originale* parmi toutes les correspondances théoriquement envisageables qui ne sont limitées que par le nombre de divisions de chaque composante.

B. Le plan: homogène et significatif

Toute la surface du plan est significative et une convention établie (légende) ne peut être changée en cours de route ou plutôt dans une partie du plan (homogénéité du plan).

- Significativité de tout le plan

Fig. 57: Bien que la carte signale, dans la légende, des lacunes d'information, elle nous donne une vision ambiguë concernant la répartition de la composante. L'implantation zonale se prête mal à faire abstraction d'une partie du plan en tant qu'espace significatif.

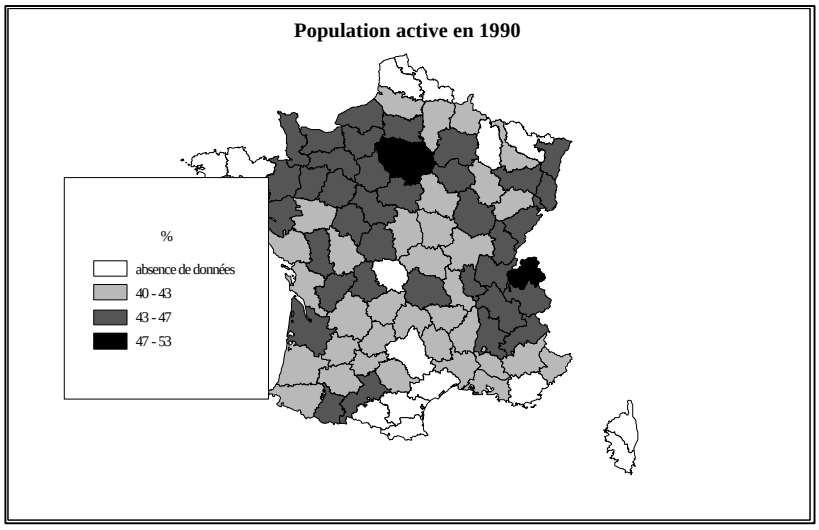
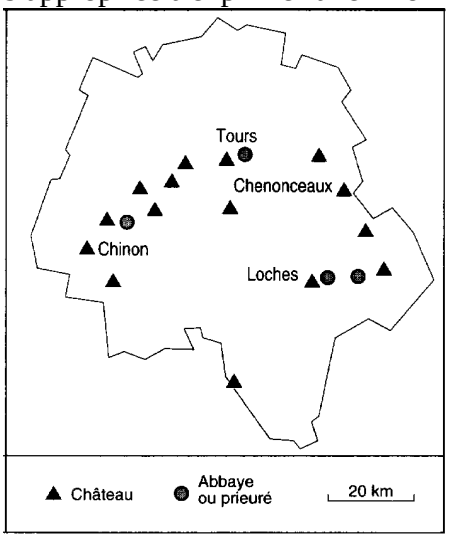


Fig.57 : La population active en 1990

Fig. 58: La carte est univoque. Toute absence de signe signifie absence d'information. L'implantation ponctuelle est plus appropriée à exprimer une information fragmentaire.

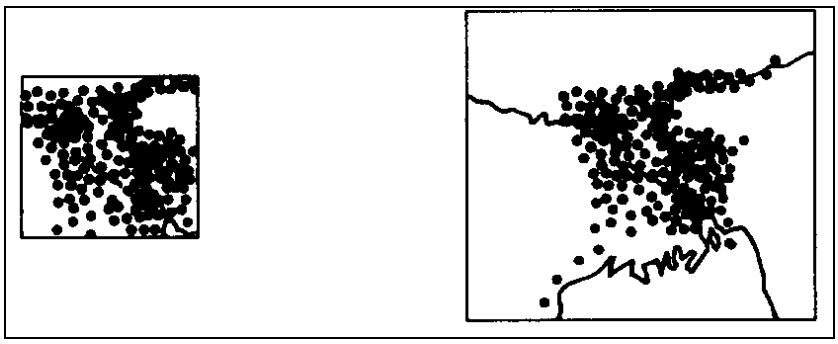


Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993 (selon J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973)

Fig. 58 : Le patrimoine culturel d'Indre-et-Loire en 1994

➢ Limitation du plan

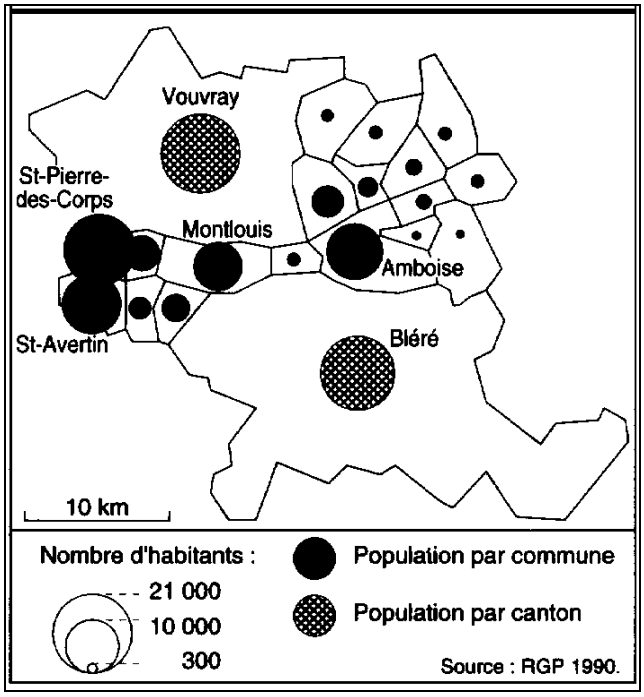
Le cadre de la représentation limite le plan significatif mais il ne limite pas forcément le phénomène représenté (fig. 59). Un phénomène limité ne nous apparaît en tant que tel qu'à condition d'être circonscrit par une marge où l'absence de phénomène devient visible.



Source: J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig. 59 : Limite de la carte et limite du phénomène représenté

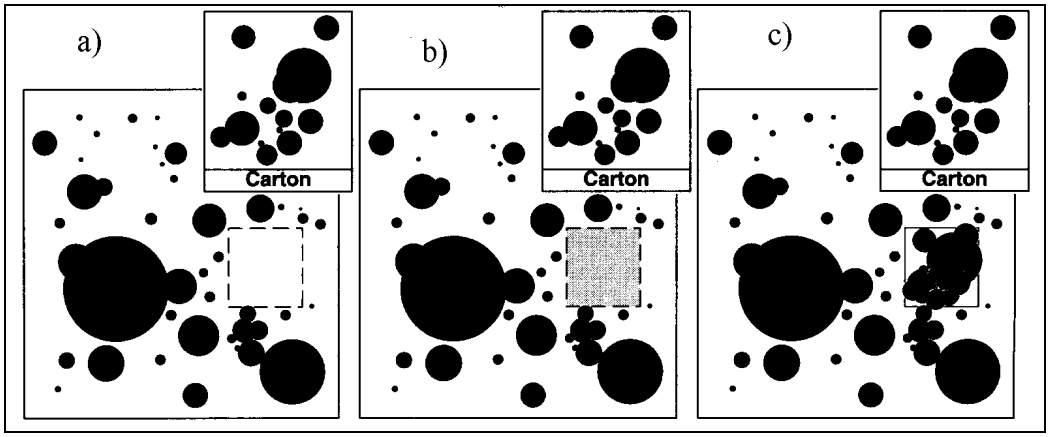
➢ Homogénéité du plan

Une convention graphique établie est invariable. Tout changement de signe signifie changement de contenu (fig. 60).



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993
Fig. 60 : Population de l'Ouest de l'INDRE6ET6Loire en 1990

Dans la fig. 61 (représentation de concentrations inégales), l'auteur semble ignorer cette règle:



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993 (selon J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973)

Fig. 61 : Cartographie des concentrations

- Fig. 61 a) - L'auteur ignore que l'absence de signe sous-entend spontanément absence d'information
- Fig. 61 b) - L'auteur ignore que tout changement de signe graphique sous-entend changement de phénomène représenté
- Fig. 61 c) - Seul ce graphique restitue l'information originale et permet au lecteur de se faire une idée de la concentration du phénomène.

C. Exercice: Exploration des ressources cartographiques sur Internet

1. Connectez-vous sur le site Internet du Pôle de Ressources Documentaires et Cartographiques (PRDC) du Département de Géographie et Aménagement de l'Université Toulouse – Le Mirail. Vous y trouverez :

   - la possibilité d'obtenir des renseignements sur un logiciel de cartographie assistée par ordinateur : SCAP (produit par l'Atelier de Cartographie du Département)
   - une liste de liens cartographiques commentés, classés par intérêt et par rubrique (fonds de cartes, données, logiciels, revues, ...) : Le petit bazar cartographique

Adresse : http://www.univ-tlse2.fr/geoprdc/

7. Les règles d'expression graphique (II): La lisibilité

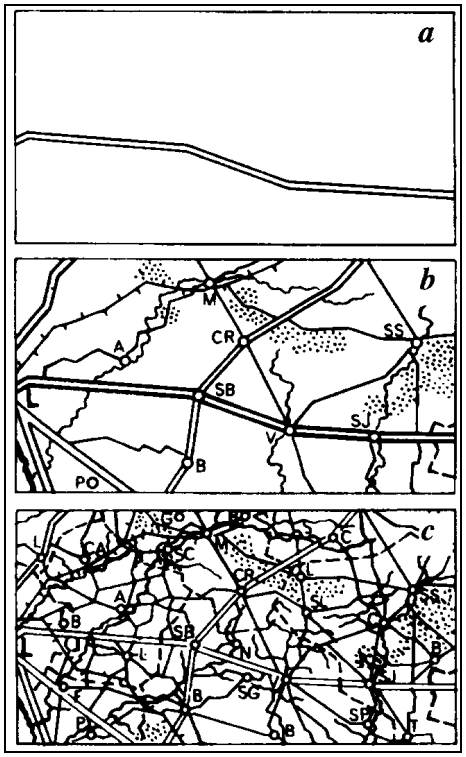
A. Règles de lisibilité

La lisibilité d'un graphique - au-delà de l'aspect exécutif lié à la maîtrise technique des outils (sûreté du trait, propreté du dessin, …) - dépend de:

- la densité graphique
- la séparation angulaire
- la séparation rétinienne

Densité graphique

Nous savons par expérience qu'il y a dans le langage verbal un débit sonore optimal. Si l'orateur parle trop lentement l'auditeur a l'impression de perdre son temps. Si, au contraire, il parle trop rapidement l'auditeur ne pourra suivre.
Il en est de même en graphique où il existe une quantité optimale de taches par unité de surface. Ainsi, dans la fig. 62, il y a une densité graphique optimale (carte b) située entre une carte qui nous semble vide (carte a) et une carte trop chargée (carte c).



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993 (selon J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973)
Fig. 62 : Densité graphique

Séparation angulaire

Une forme visuelle est limitée par une série de lignes qui forment des angles entre elles. La lisibilité de la forme diminue quand:

- l'angle se rapproche de O° ou de 180°
- les cotés des angles se raccourcissent trop.

Ceci s'applique aussi bien à la carte (forme d'entités géographiques, trait de côte, …) qu'au diagramme (courbe). La courbe c) de la fig. 63 représente la séparation angulaire optimale. On distingue aisément les angles entre chaque observation (élément) et l'angle formé par l'ensemble de la courbe. La courbe a) présente des angles élémentaires bien lisibles; cependant sa tendance générale ne ressort pas: la courbe paraît plate. La lisibilité élémentaire de la courbe b) est compromise tandis que la tendance de la courbe ressort bien.

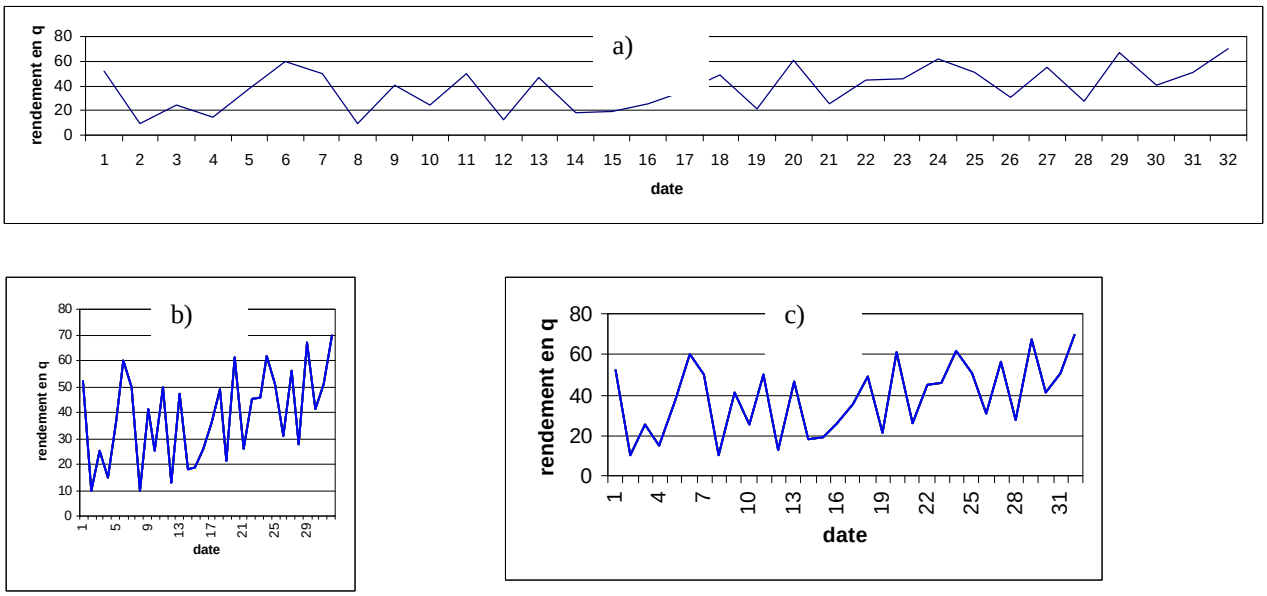
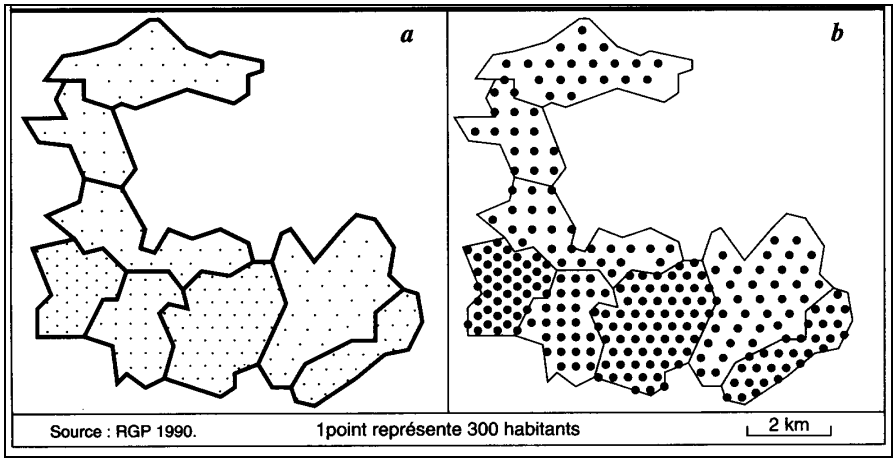


Fig. 63 : Séparation angulaire

Séparation rétinienne

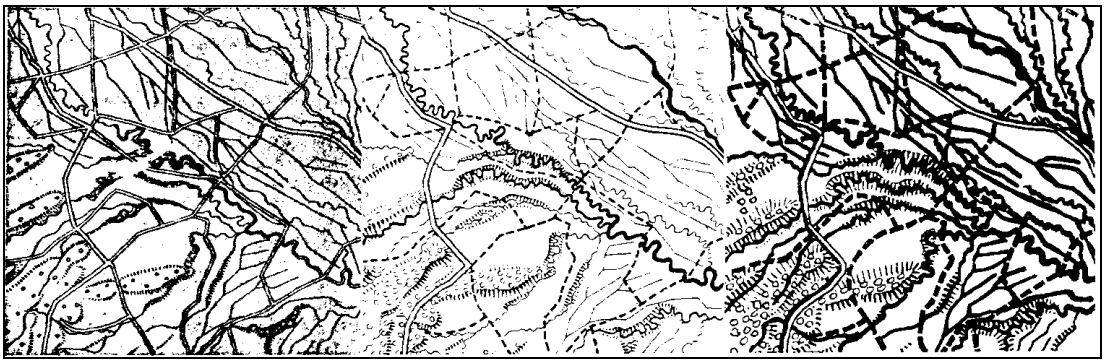
La séparation rétinienne est fonction de l'emploi que l'on fait des variables rétiniennes: différences de taille, nuances de la valeur, … Elle est aussi fonction de l'implantation de la variable. Ainsi elle dépend de l'hiérarchisation de l'information.

- Il convient de faire ressortir l'information originale (fig. 64 b), pas les éléments de repère comme les limites administratives ou le canevas de la projection (fig. 64 a)



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993
Fig. 64 : Séparation rétinienne - fond et contenu original

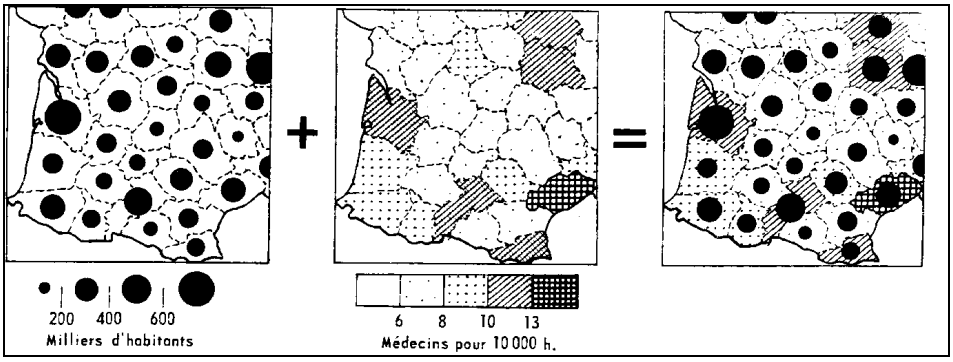
- Il convient de sélectionner et de hiérarchiser l'information: les éléments ne doivent pas avoir le même poids graphique (fig. 65 b). Si les éléments du graphique ont visuellement la même importance, le graphique nous apparaît non structuré et illisible (fig. 65a et c)



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig.65 : Séparation rétinienne - la structuration de l'information

- Dans le cas d'une information complexe: augmenter la séparation en employant des variables rétiniennes et des implantations différentes (fig. 66[13])

[13] L'exemple donné illustre la possibilité de superposer deux images cartographiques sans nuire à la lisibilité de l'ensemble. Ainsi il est possible, dans de rares cas, de transgresser la règle stipulant qu'en cartographie, l'image ne supporte pas plus de deux composantes.

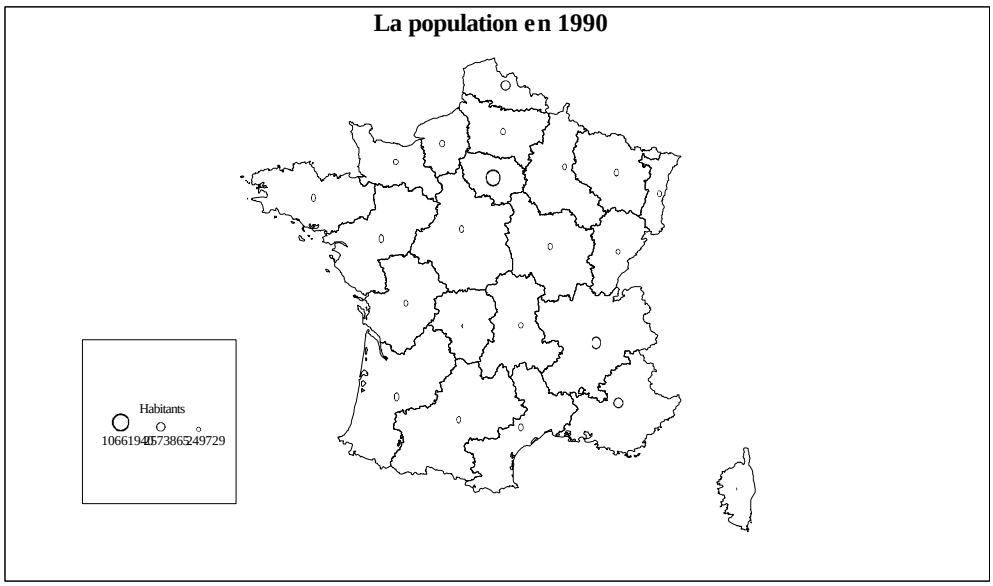


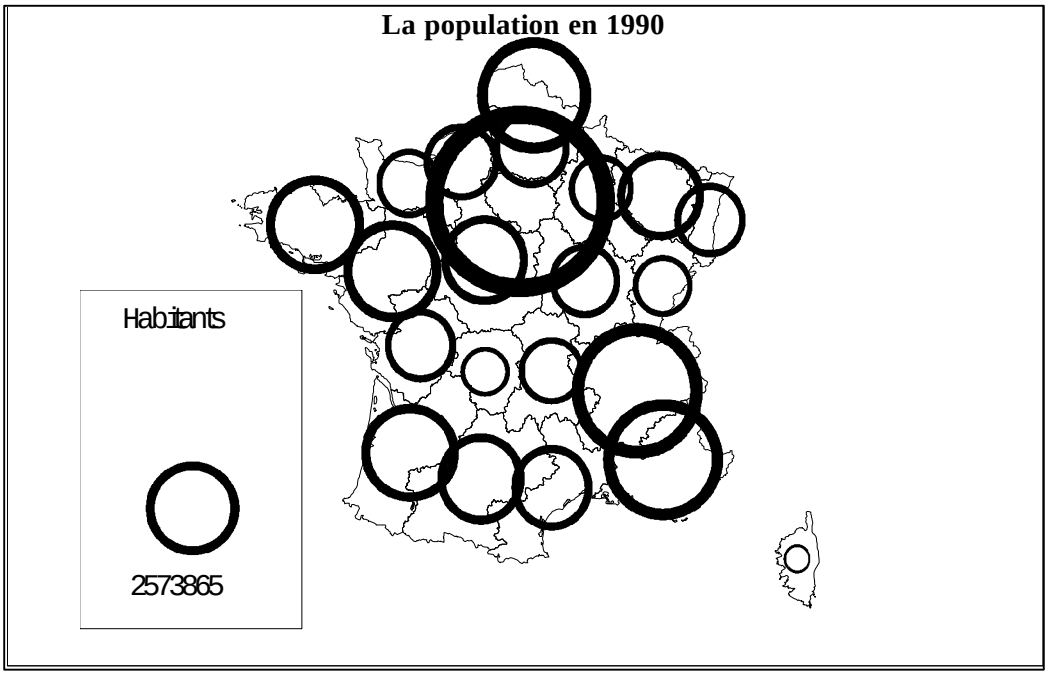
Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973

Fig. 66 : Séparation rétinienne - variables rétiniennes et implantations, la superposition d'images

B. Exercice : Lisibilité du graphique

1. Pour la série des trois cartes de la fig. 67, indiquer la construction la plus lisible ainsi que la règle de lisibilité non respectée dans les deux autres.





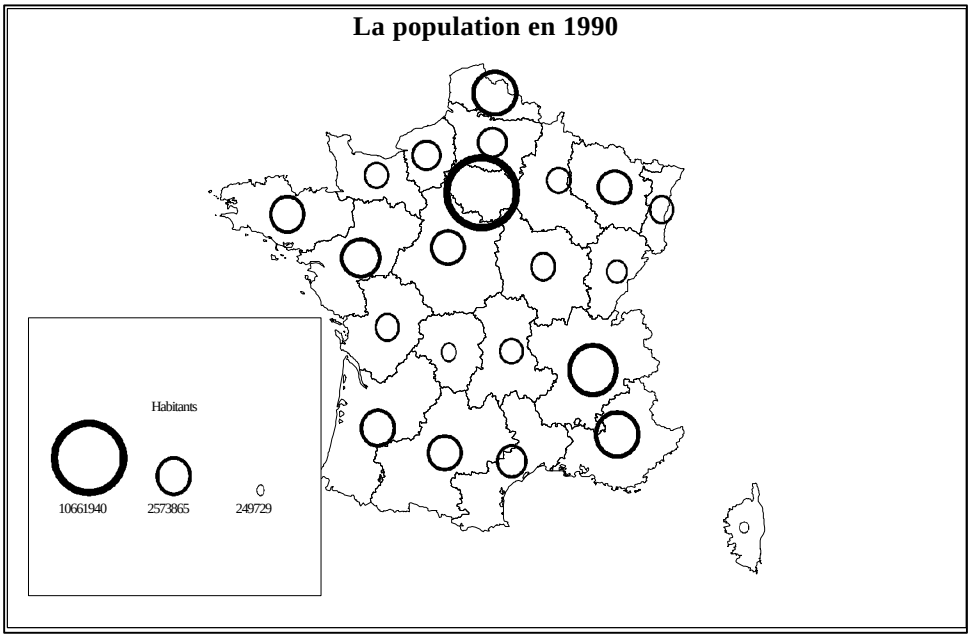
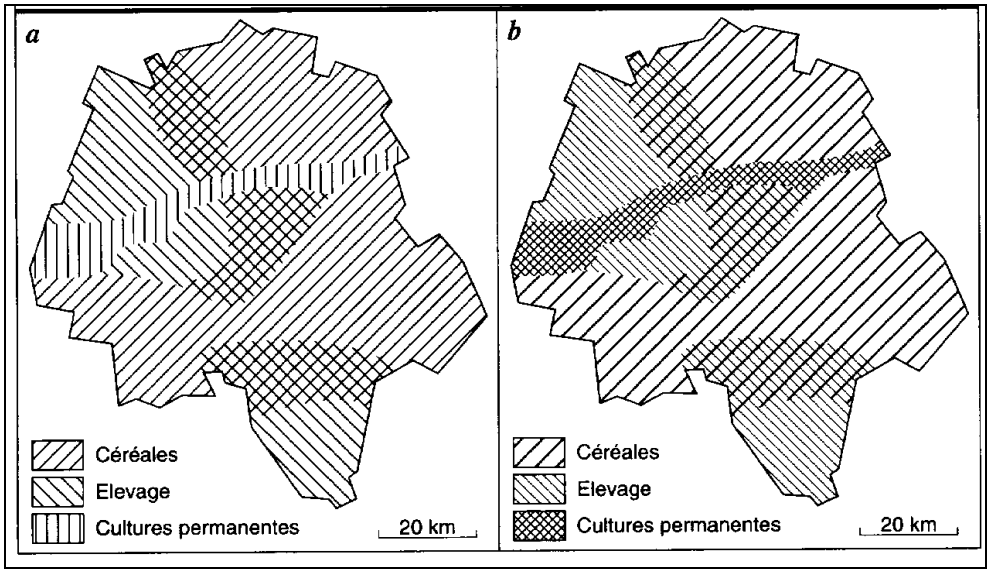


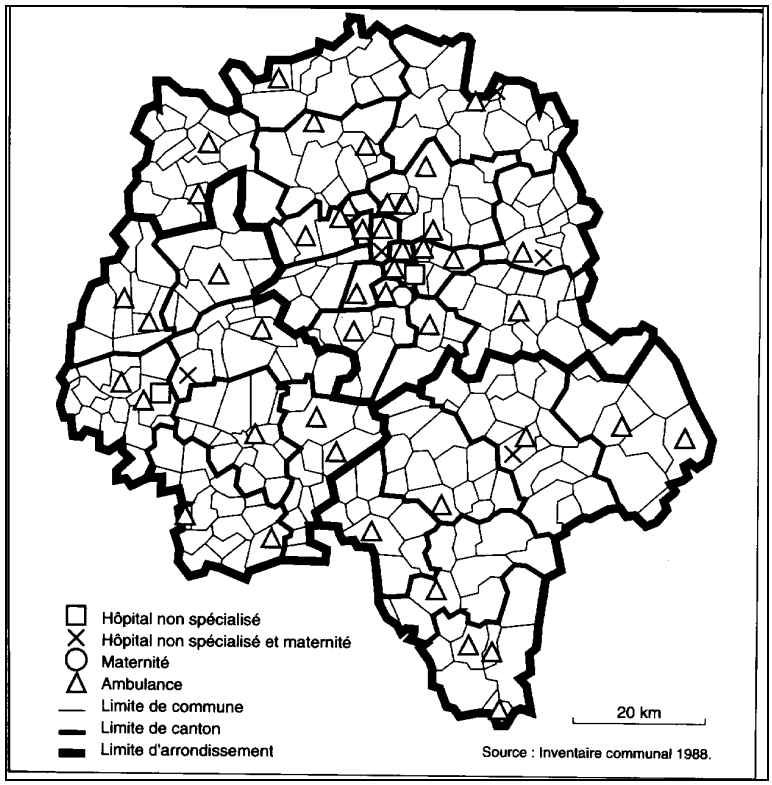
Fig. 67 : La population en 1990

2. Pour les deux cartes de la fig. 68, indiquer la construction la plus lisible ainsi que la règle de lisibilité non respectée dans l'autre.



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993
Fig. 68 : L'agriculture en Indre-et-Loire en 1988

3. Fig. 69: Analyser sa lisibilité et proposer des améliorations.



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 69 : Les établissements de soins en Indre-et-Loire en 1988

8. Analyse de l'information (I): Invariant et composantes

A. Nombre de composantes et conséquences sur la construction[14]

La représentation graphique d'une information est précédée par son analyse qui conduit à la distinction entre la partie invariable (**invariant**) et la partie variable (**composante(s**)) de l'information. Le nombre de composantes influencera le choix du type de construction graphique tandis que la nature des composantes se répercutera sur le choix des variables graphiques.

Invariant et composantes

Toute information se divise en une partie immuable et une partie variable. BERTIN (1973) appelle **composantes** les éléments variables d'une information afin de les distinguer des **variables graphiques** qui expriment graphiquement ces composantes.

L'information peut être définie comme la réalisation d'une ou de plusieurs correspondances parmi un ensemble d'états possibles qui résulte du nombre de catégories des composantes. Tous les états possibles, définissant taille et subdivisions du plan du graphique répondent à une définition invariable ou un cadre: **l'invariant**.
La compréhension d'une information et sa représentation graphique optimale se basent sur la connaissance de ces éléments clé de l'information. Cette analyse de l'information est illustrée à travers des fig. 30, 56 et 70.

Action X – fig. 30

La figure exprime un certain nombre d'informations résultant des correspondances entre:

- le concept "*quantité de Francs*" (variation du nombre de Francs)
- le concept "*temps*" (variation de la date)
- un point X du concept "*différentes actions cotées à la bourse de Paris*" - ce point est par définition invariant

Ainsi **l'invariant** est la définition exhaustive et invariable valable pour toutes les données exprimées. Dans notre exemple l'invariant est: cote en francs de l'action X, comptant, dernier cours, à la bourse de Paris.
Les **composantes** de cette information, régis par le cadre de l'invariant, sont:

- les quantités (de francs, unité de mesure: le centime)
- le temps (unité de mesure: le jour)

[14] d'un diagramme ou d'un réseau – les impositions où l'auteur dispose d'une certaine liberté de construction

L'information est à deux composantes et son expression graphique nécessite deux variables visuelles: les deux dimensions du plan (axes du graphique).

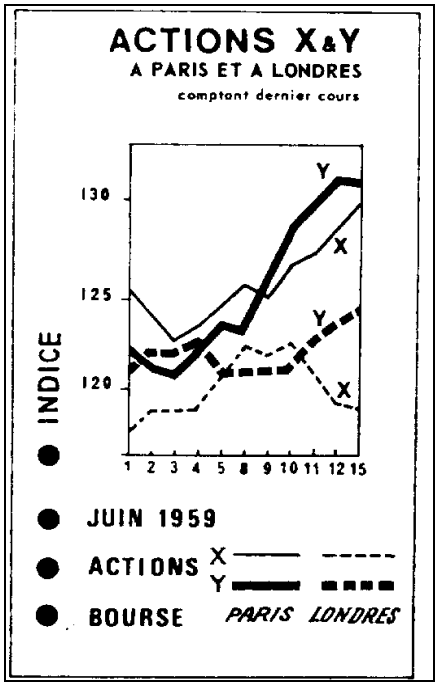
Actions X et Y – fig. 56

Le graphique indique les cours des actions X et Y à la bourse de Paris.
Invariant: cote en francs, au comptant, dernier cours, à la bourse de Paris.
Composantes:

- quantités de francs
- le temps
- diverses actions (ici : X et Y)

L'information est à trois composantes et sa transcription graphique doit mettre en œuvre trois variables visuelles: les deux dimensions du plan et une variation de taille (épaisseur du trait) différenciant les catégories de la nouvelle composante (différentes actions).

Actions X et Y, Paris et Londres – fig. 70



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig. 70 : Actions X et Y aux bourses de Paris et de Londres

Le graphique compare le cours des actions X et Y à la bourse de Paris et de Londres.
Invariant: cote au comptant, dernier cours.
Composantes:

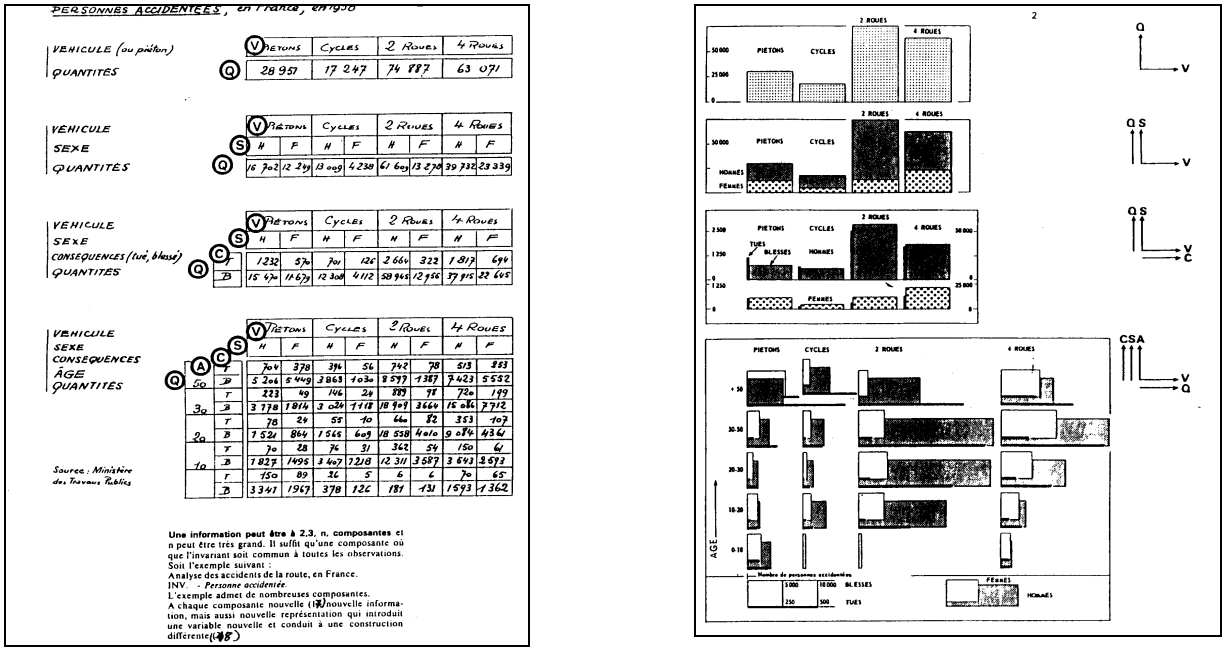
- quantités (indice de cote)
- le temps

- diverses actions (ici : X et Y)
- diverses places boursières (ici : Paris et Londres)

L'information est à quatre composantes et il faut autant de variables visuelles: aux deux dimensions du plan et à la variation de taille on ajoute la variation de grain (nombre de signes à égale valeur ; ici: trait continu et en tirets différenciant les places boursières).

Le nombre de variables visuelles est au moins égal au nombre de composantes de l'information.

L'organisation efficace d'un graphique est fonction du nombre de ses composantes. Le moyen le plus simple pour connaître le nombre de composantes d'une information est une représentation sous forme de tableau à double entrée. Il y a autant de composantes que d'entrées de classification plus 1 pour les quantités. Ce principe et sa traduction graphique sont illustrés par la fig. 71.


PERSONNES ACCIDENTEES, en France, en 1970
VEHICULE (ou piéton)
QUANTITES
28 957
17 247
74 887
63 071
Source : Ministère des Travaux Publics
Une information peut être à 2,3, n, composantes et n peut être très grand. Il suffit qu'une composante ou que l'invariant soit commun à toutes les observations.
Soit l'exemple suivant :
Analyse des accidents de la route, en France.
INV. - Personne accidentée.
L'exemple admet de nombreuses composantes.
A chaque composante nouvelle (1) nouvelle information, mais aussi nouvelle représentation qui introduit une variable nouvelle et conduit à une construction différente (48)

Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973

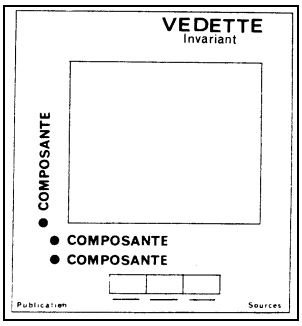
Fig. 71 : Nombre de composantes et schéma de construction d'un diagramme

B. Nombre de composantes et conséquences sur l'image

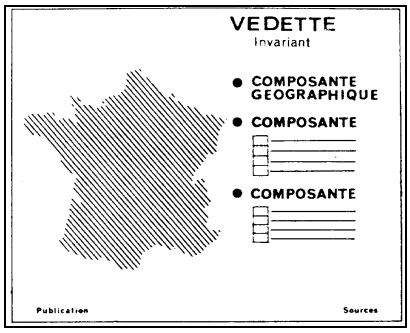
Dans la mesure du possible un cartographe évite de surcharger un graphique. Un bon graphique (carte ou diagramme) est un graphique dont la perception est immédiate. BERTIN (1973) appelle les graphiques à perception instantanée **images**. Une image est le graphique le plus efficace en temps de lecture.

Pour qu'une information puisse être perçue en une image elle doit contenir au maximum[15] :

** 3 composantes en cas d'un diagramme* (titraison, cf. fig. 72*)*
** 2 composantes en cas d'une représentation cartographique* (titraison, cf. fig. 73)



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig. 72 : Schéma de titraison pour un diagrame



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig. 73 : Schéma de titraison pour une carte

L'importance de la construction sur la perception est illustrée dans la fig. 34 (chapitre 3). Il s'agit d'une comparaison des postes de dépense selon les classes de revenu en Grande Bretagne en 1960.

INV (invariant) : dépenses des ménages en Grande Bretagne en 1960
COM (composantes):

- quantités relatives de dépense
- pour 28 postes de dépense selon
- 3 classes de revenus

La construction graphique est un assemblage de 28 images (une par poste) à deux composantes. S'y ajoute un camembert représentant le poids relatif de chaque classe (nombre de foyers).
Pour répondre à la question: "*Pour quel poste la classe moyenne dépense-t-elle le plus ?*" il faut lire, mémoriser et comparer 28 images. Réponse (pas facile à trouver): poste 3 - entretien de la maison.

La fig. 35 exprime la même information mais la construction graphique est une image. Le lecteur est attiré et conduit par des différences visibles grâce au tri de la composante *poste de dépense* selon la dépense – un traitement de l'information appelé **diagonalisation** (cf. chapitre 11). On perçoit rapidement la logique ordonnée de l'image:

- l'ordonnée exprime les 28 postes

[15] Il s'agit en l'occurrence d'une règle de base. Sa validité dépend notamment de la complexité des composantes (nature et longueur, cf. fig. n°70).

- l'abscisse les trois classes de revenus (juxtaposition[16])
- l'abscisse exprime le volume relatif de dépenses

Au-dessous des 28 postes figure le poids des classes (nombre de foyers).

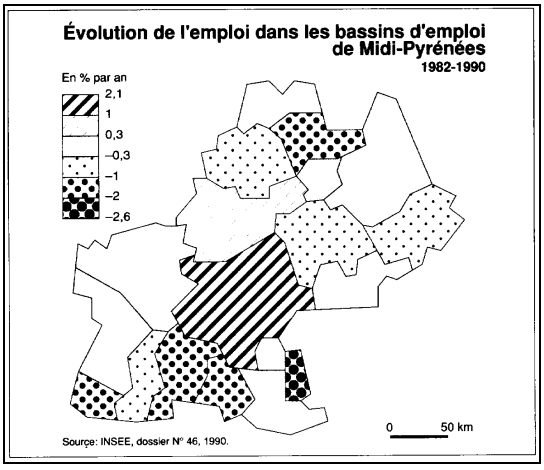
Le lecteur trouve facilement la réponse. En outre, et contrairement à la représentation précédente qui suggère une relative uniformité, il peut s'interroger sur les caractéristiques d'une classe ou sur l'ensemble de l'information. La corrélation entre le revenu des ménages et leur comportement de consommateurs est encore soulignée par l'emploi de la valeur: la partie noire des barres indique une dépense supérieure au revenu total moyen de la classe.

La longueur des composantes

La longueur d'une composante, c'est le nombre de divisions qu'elle permet. Ainsi la longueur de la composante sexe est deux, celle de la composante secteurs d'activité trois.
Il y a des composantes **discrètes** ayant un nombre fini de classes: nombre de personnes ou quantité de francs (limitée par le système monétaire de francs et de centimes).
D'autres composantes quantitatives **continues ou métriques** ont une longueur infinie: vitesse, altitude, température etc.
Notre perception visuelle ne peut distinguer qu'un nombre très limité de classes d'où l'importance du traitement (notamment de la **discrétisation**) de l'information précédant son représentation graphique.

C. Exercice: Analyse de l'information d'un graphique: tableau analytique

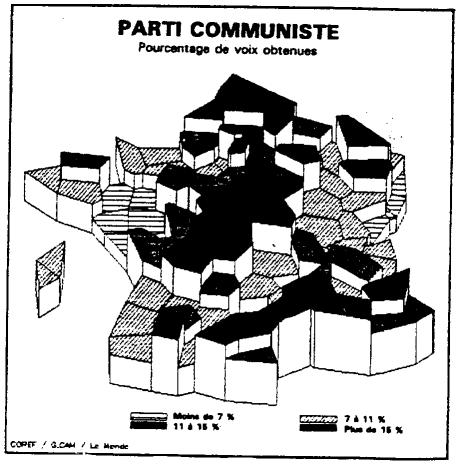
1. Fig. 74: Indiquer l'invariant, les composantes et les variables graphiques. Quelle perception procure la carte? Peut-on faire mieux?



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 74 : Evolution de l'emploi dans les bassins d'emploi de Midi-Pyrénées , 1982-1990

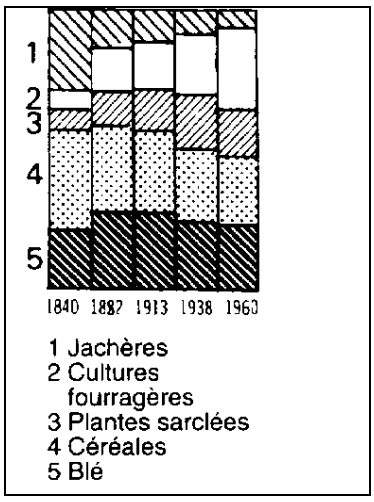
[16] En fait, il s'agit de la juxtaposition de trois graphiques, donc de trois images tellement élémentaires que la figure d'ensemble soit perçue comme une image.

2. Fig. 75: Indiquer l'invariant, les composantes et les variables graphiques. Quelle perception procure la carte? Peut-on faire mieux?



Source: S. Bonin & M. Bonin, La graphique dans la presse, CFPJ, 1989
Fig. n° 75 : Le score du parti communiste

3. Fig. 76 – Evolution de l'occupation du sol (%): indiquer l'invariant, les composantes et les variables graphiques. Comment améliorer la perception?



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993
Fig. 76 : Evolution de l'occupation du sol

9. Analyse de l'information (II): Niveau statistique des composantes

A. Niveau d'organisation des composantes: répercussions sur le choix des variables rétiniennes

Les composantes de l'information peuvent être classées par leur niveau d'organisation statistique, appelé aussi niveau scalaire. On distingue entre:

- Composante **nominale**[17]: sexe, question fermée (oui / non)

- Composante **qualitative (q)**: différents pays ou marchandises - aucun ordre de tri ne s'impose. Une composante est qualitative lorsque ses catégories ne s'ordonnent pas d'une manière universelle. Elles peuvent être ordonnées selon différents critères. La fig. 77 exprime deux composantes qualitatives mobilisant chacune un axe. Une composante qualitative peut être ordonnée pour faciliter la lecture du graphique comme le prouve le diagramme à droite doublement ordonnée du plus petit au plus grand (cf. aussi les fig. 34 et 35).

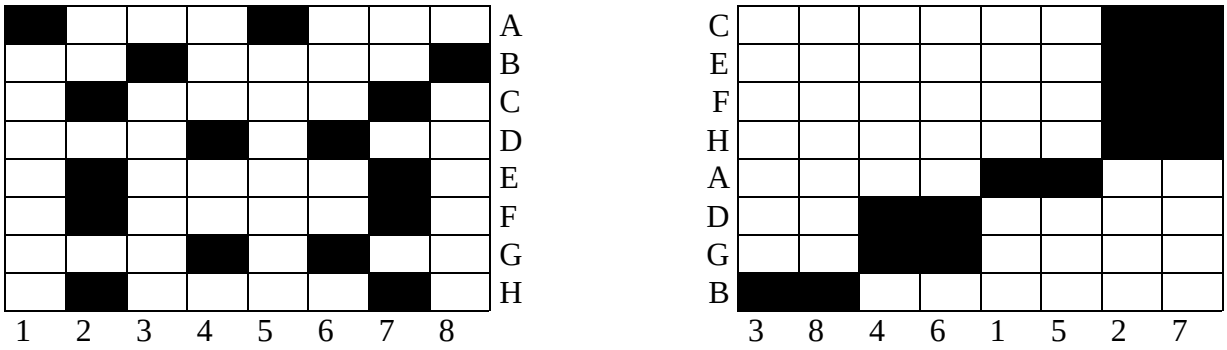
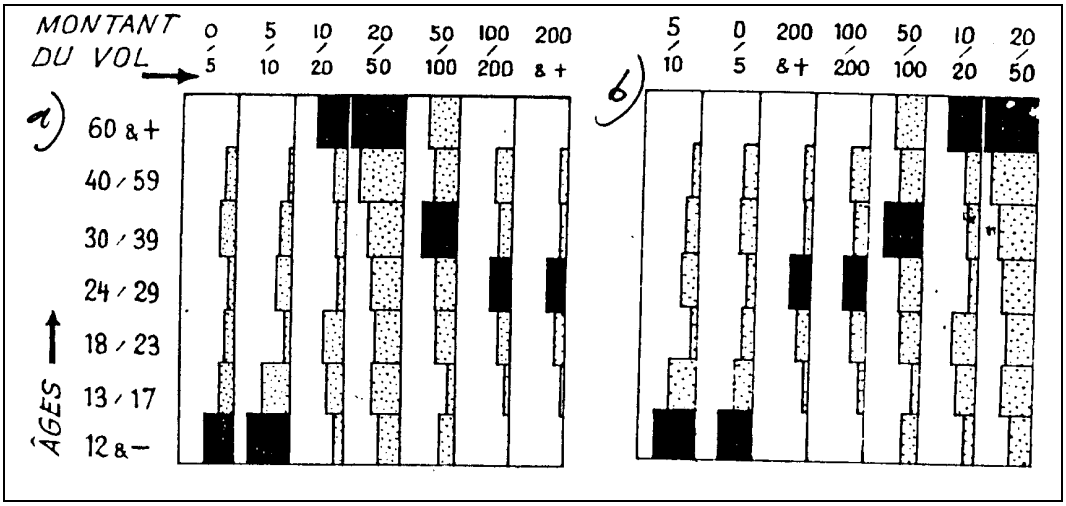


Fig. 77 : Diagonalisation d'un diagramme ou le tri de composantes qualitatives en imposition de diagramme

- Composante **ordonnée (O)**: classes d'âge ou niveaux d'étagement: un ordre logique s'impose sans que l'on puisse mesurer les distances exactes entre les classes. Il en résulte que les composantes ordonnées ne sont plus « *ordonnables* ». Si on change leur ordre normal on fait mentir le graphique. La fig. 78 exprime le vol dans les grands magasins. L'information contient une composante quantitative (nombre de vols en %) et deux composantes ordonnées (âge des délinquants et montant du vol, chacune en sept classes). Le graphique de gauche restitue l'ordre naturel des composantes. Celui de droite modifie l'ordre naturel de la composante ordonnée "montant du vol" (abscisse). Le graphique paraît visuellement mieux structuré mais la logique de l'information n'est plus respectée. L'image suggère une fausse corrélation positive entre âge et montant du vol. Le diagramme est tout simplement faux.

[17] Par la suite nous considérons le niveau nominal comme un cas limite du niveau qualitatif. En pratique, il n'y a pas de différences pour leur expression graphique.



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig. 78 : Le vol dans les grands magazins – distribution des délinquants suivant l'âge et le montant du vol

- Composante **quantitative (Q)**: toute composante dont la distance est mesurable avec exactitude: mesures métriques, prix, etc.

La connaissance du niveau statistique des composantes est fondamentale pour le choix de la variable rétinienne. Cette dernière doit pouvoir offrir une perception à la hauteur du niveau statistique de la composante. Dans le cas contraire, on observe une perte d'information liée à une mauvaise traduction (du langage verbal au langage graphique).

Les fig. 32 et 33 (prix de terrain dans l'Est de la France) démontrent l'importance de cette règle.
Outre la composante géographique mobilisant les deux axes du plan, chacune des cartes exprime l'unique composante thématique: variation du prix de terrain (ici discrétisé en six classes):

N° de figure	Composante		Variable rétinienne		
	Nom	Niveau statistique	Nom	Implantation	Niveau de perception
32	prix de terrain	Ordonné	Forme	ponctuelle	associatif
33	prix de terrain	Ordonné	Taille	ponctuelle	Ordonné, quantitatif[18]

La forme n'est pas apte à rendre le niveau d'organisation de la composante. La carte est inefficace et conduit à une lecture élémentaire point par point (comme un tableau).

La taille est une variable rétinienne adaptée au niveau d'organisation ordonné de la composante. La carte forme une image. Elle peut être visuellement mémorisée et elle est perçue spontanément. On

[18] La taille est la seule variable rétinienne à pouvoir offrir une perception ordonnée. Cependant, en l'occurrence, la composante a été discrétisée préalablement en six classes. Elle est donc ordonnée.

voit tout de suite où se situent les terrains les plus chers et les moins chers. Visuellement et sans recours à la légende on peut comparer les prix.
En fait, la taille offre même une perception « *surdimensionnée* ». La perception quantitative qu'elle procure rend superflu la discrétisation de la composante entraînant inévitablement une perte d'information.

L'observation nous conduit à un schéma d'équivalence entre le niveau statistique d'une composante et le niveau de perception que procure une variable rétinienne.

- Une composante quantitative ne peut, sans perte d'information, être rendue que par la taille
- Une composante ordonnée ne peut être rendue, sans perte d'information, que par la taille, la valeur, le grain et l'association couleur – valeur (camaïeu).
- Une composante qualitative peut être rendue par une variable rétinienne sélective ou associative, selon l'objectif recherché.

L'observation des cartes du prix de terrain dans l'Est de la France mène à un deuxième constat:

> *L'image cartographique supporte deux composantes à condition que la composante thématique est rendue par une variable rétinienne dont le niveau de perception est au moins ordonné.*

B. Représentation des quantités: masses ou taux ?

Dans le cadre de la représentation cartographique il convient de distinguer quantités **dépendantes** et **indépendantes**.

- Quantités dépendantes ou absolues (**masses**)

Les masses se rapportent à un point, un axe linéaire ou sont la somme des points d'une surface. Exemples : nombre d'habitants d'une ville, trafic routier, nombre de voitures d'un département.

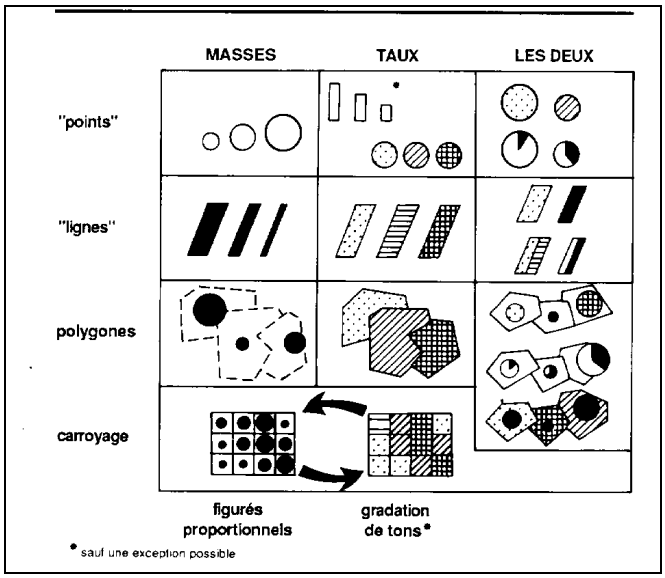
> *Règle générale : on représente les masses en implantation ponctuelle (effet de masse).*

- Quantités indépendantes ou relatives (**taux**)

Il s'agit de taux ou de densités (habitants par km^2, quintaux de blé / ha, nombre de médecins pour 10 000 hab.). Ils sont calculés soit par rapport à une autre variable (surface, hab.) soit par rapport au total (% des gens vivant en milieu urbain par rapport à l'ensemble des foyers).
Lorsqu'un taux se rapporte à une surface il est par définition égal (ou variable dans les limites d'une classe) en tout point de la surface. Il ne s'agit donc nullement de sa somme.

> *Règle générale : on représente les taux en implantation surfacique (effet de densité).*

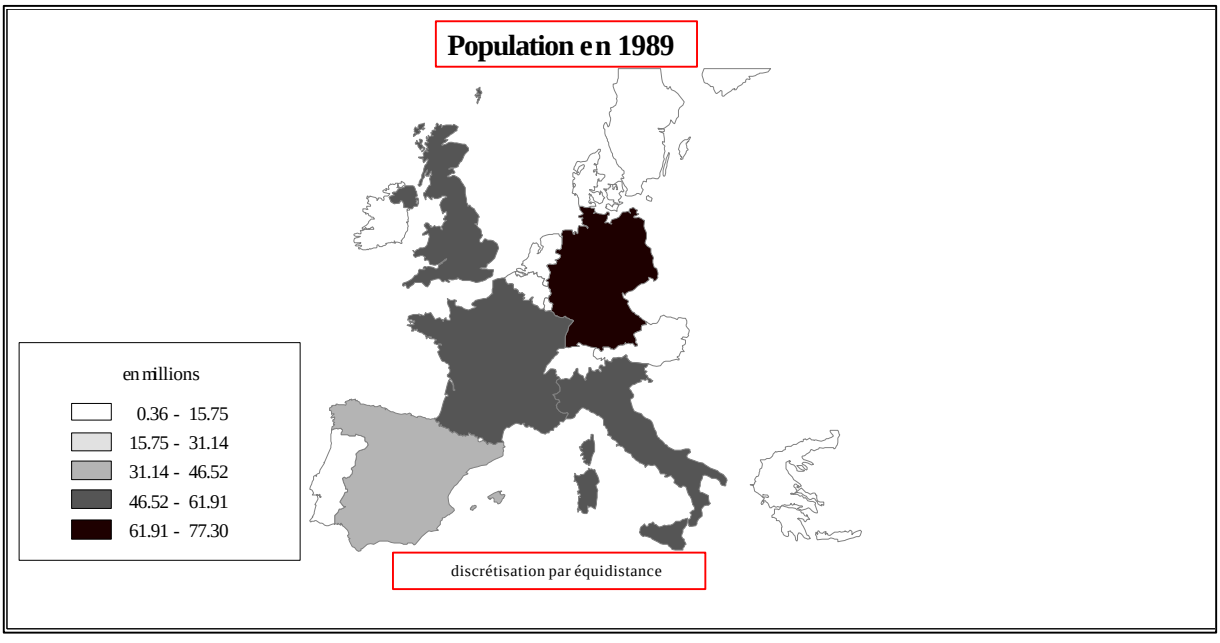
La fig. 79 indique le schéma de représentation à adopter pour les quantités en fonction de la dimensionalité du phénomène. La combinaison masses / taux figure dans la troisième colonne.

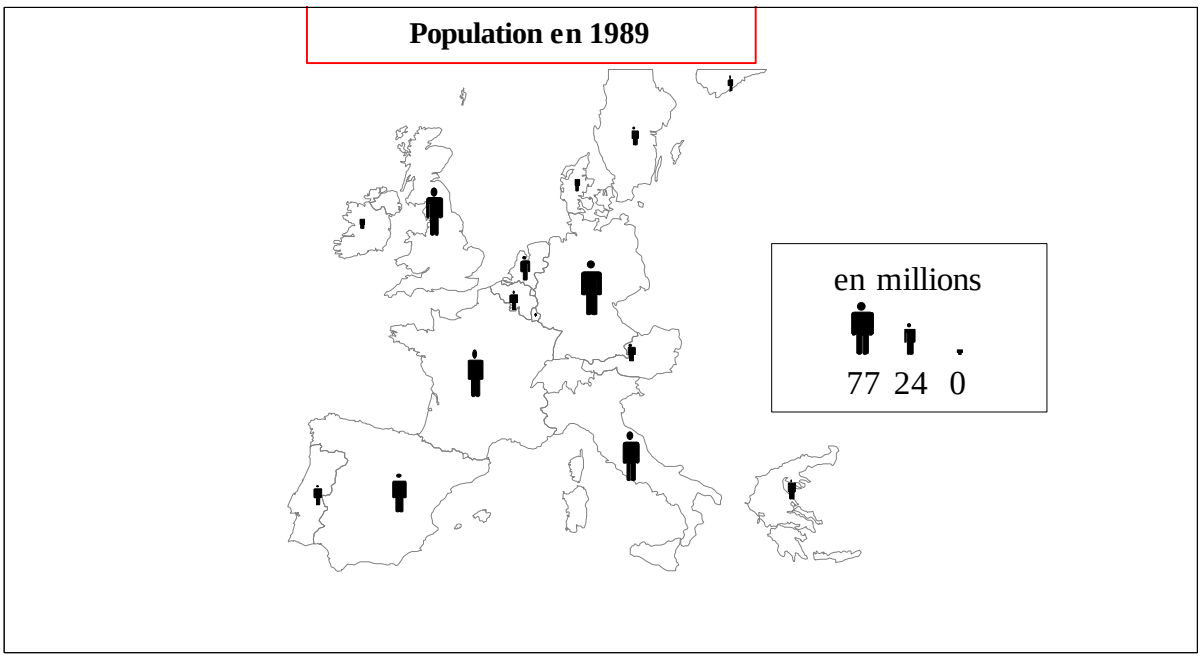


Source : R. Brunet, La carte, mode d'emploi, Fayard / Reclus, 1989

Fig. 79 : Masses et taux : possibilités de représentation

Le respect de cette règle de représentation des quantités ne souffre aucune exception. La représentation d'une masse par le grain ou la valeur en implantation zonale suscite une image de … fausse densité: fig. 80 (a: fausse impression de densité d'une masse – la carte est erronée, b: représentation correcte de la masse, c: vraie image de la densité du phénomène).





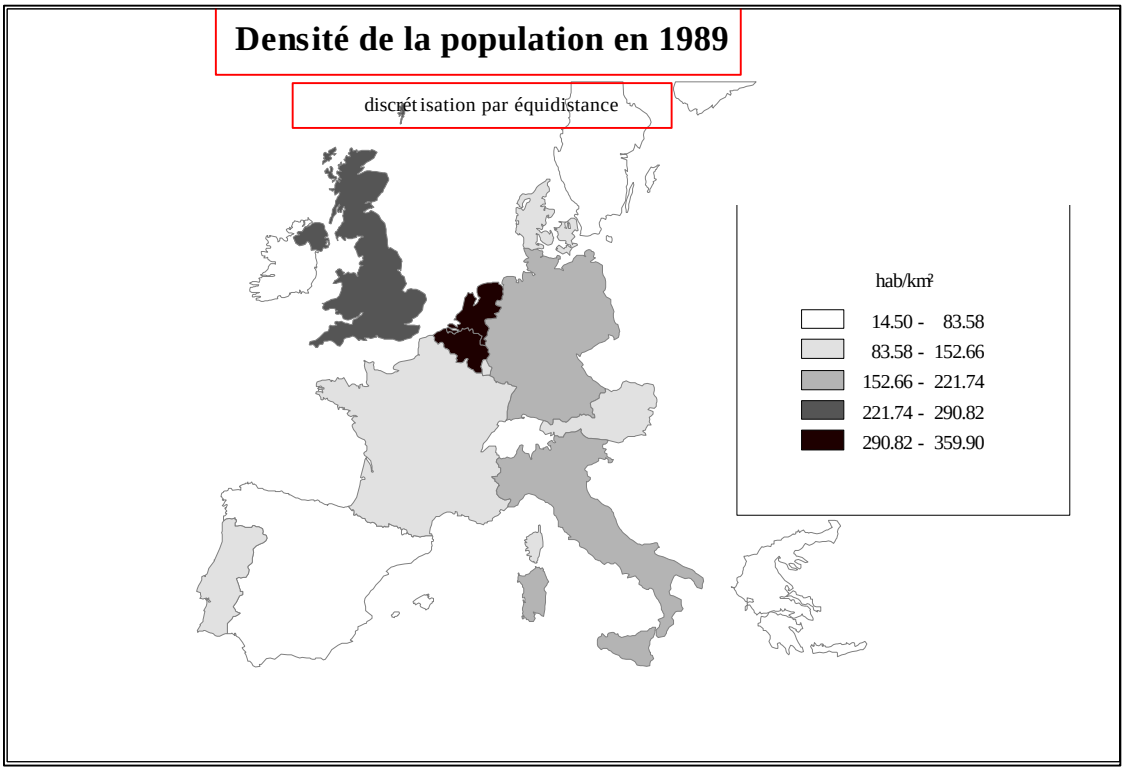
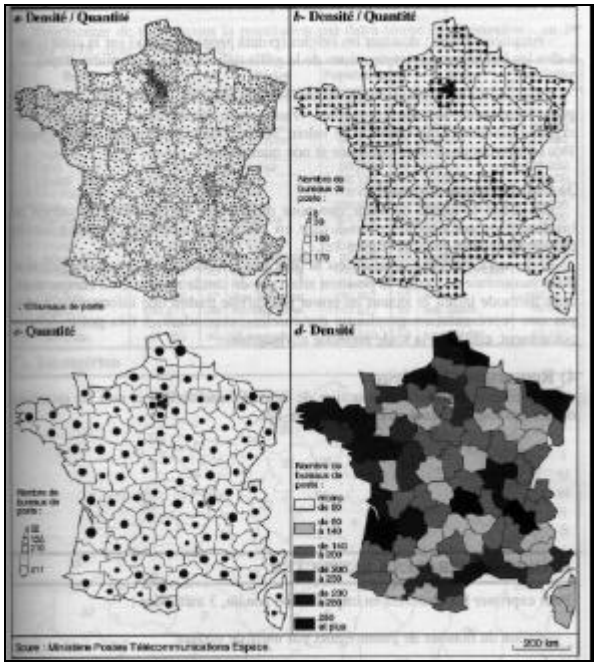


Fig. 80 : La population dans l'Union Européenne

Il existe cependant des possibilités d'exprimer la densité d'un phénomène quantitatif sans discrétisation préalable:

- la gradation continue de la valeur (cf. fig. 41)
- la variation de nombre de points de taille égale (principe statistique): fig. 81a[19]
- le semis régulier de cercles de taille croissante (variation de taille de points répartis régulièrement sur toute la surface): fig. 81b dont la réalisation manuelle est compliquée.



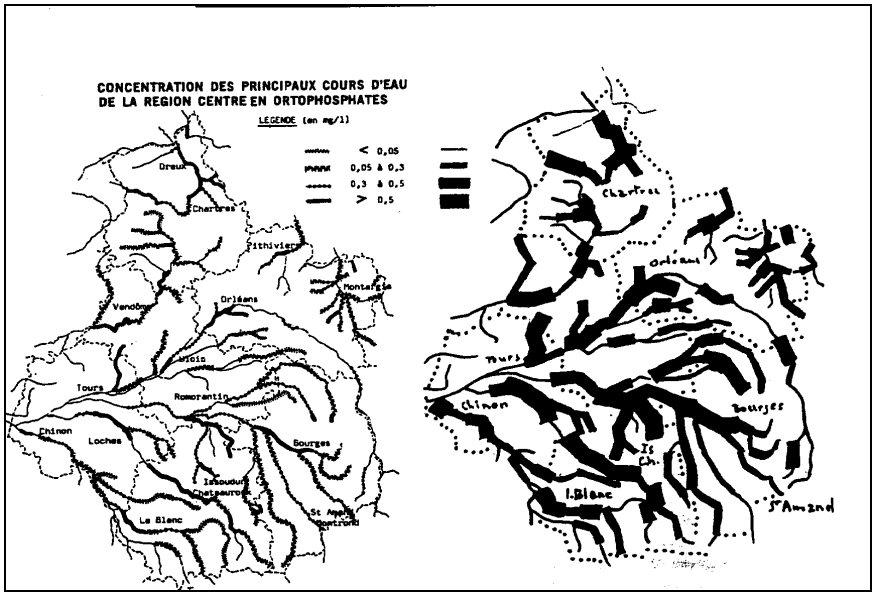
Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 81 : Les bureaux de poste en France (31.12. 1989)

[19] On remarque la méthode dite du cornet pour rendre compte de séries de données à forte dynamique.

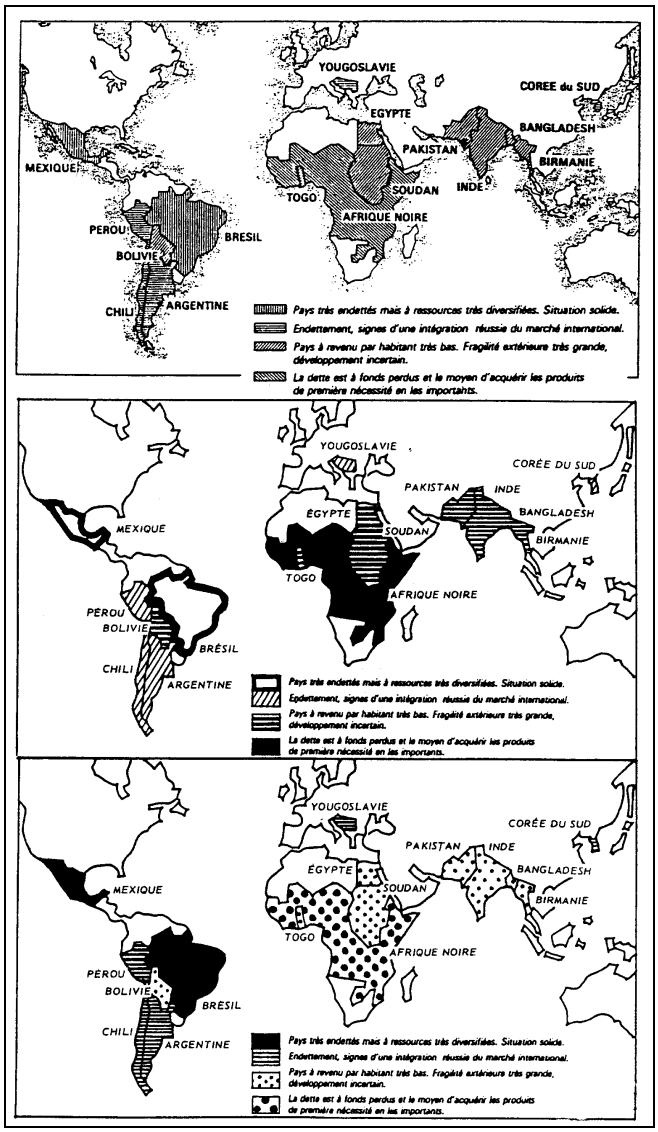
C. Exercice: Adéquation niveau statistique et niveau de perception

1. Fig. 82 - Concentration des principaux cours d'eau de la région Centre en orthophosphates. Analyser les deux cartes: nombre et niveau statistique des composantes, variables graphiques et implantations utilisées. Comparer l'efficacité des deux cartes.



Source: S. Bonin & M. Bonin, La graphique dans la presse, CFPJ, 1989
Fig. 82 : Concentration en orthophosphates dans les principaux cours d'eau en région Centre

2. Fig. 83 - Endettement de certains PVD. Analyser les deux cartes: nombre et niveau statistique des composantes, variables graphiques et implantations utilisées. Comparer la logique des trois légendes. Quelles sont les images cartographiques résultantes?



Source: S. Bonin & M. Bonin, La graphique dans la presse, CFPJ, 1989

Fig. 83 : Endettement de certains PVD

3. Fig. 84 – Analyser les deux cartes: nombre et niveau statistique des composantes, variables graphiques et implantations utilisées. Relever les différences entre les deux cartes.

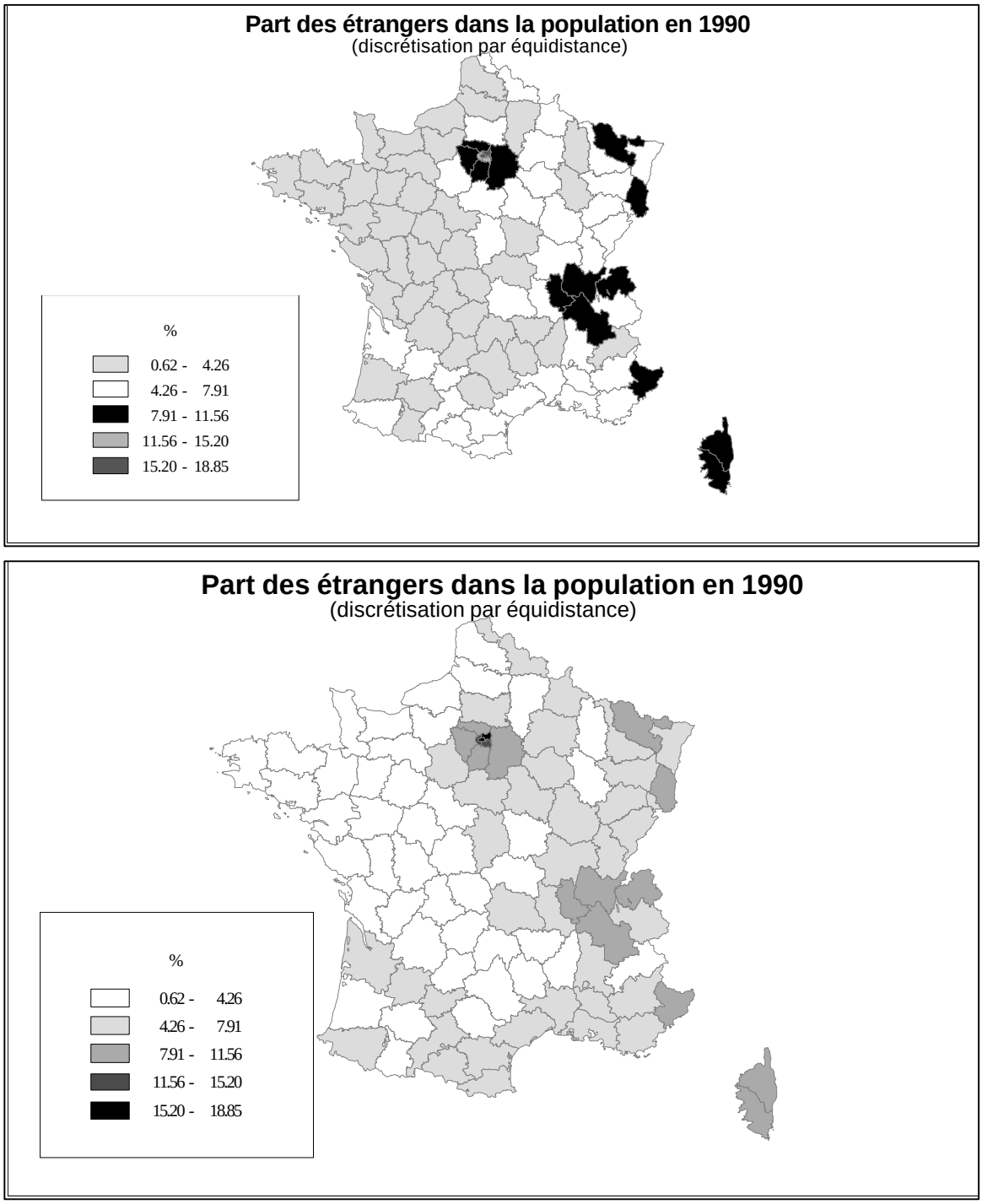


Fig. 84 : Part des étrangers dans la population française en 1990

10. Traitement statistique de l'information : La discrétisation

Exprimer (carto-)graphiquement une information implique souvent sa simplification. Ainsi en découpant en classes une série de données, la discrétisation réduit une variable quantitative en variable ordonnée.

> *«Perdre le moins possible d'information, du point de vue de la statistique, reviendrait à cartographier toutes les valeurs, sans discrétisation préalable. Or, nous savons que les règles de la perception visuelle contredisent cette exigence, la lisibilité de l'image cartographique étant d'autant plus grande que le nombre de signes distincts, donc de classes, est petit. Il est donc indispensable de procéder à une «réduction» de l'information statistique.» (BEGUIN & PUMAIN, 1994)*

La réduction statistique, appelée discrétisation, doit conserver au mieux l'information tout en la simplifiant. Ces objectifs, a priori contradictoires, peuvent être conciliés en respectant certaines règles :

- Indiquer les descripteurs clé d'une distribution. L'expression graphique fait surtout ressortir les inégalités, les variations dans l'espace. Pour leur interprétation correcte, il convient d'indiquer certains des descripteurs suivants: moyenne, mode, minimum, maximum et écart-type.
- Respecter la forme de la distribution. La plupart des séries de données ressemblent à un type de distribution: uniforme, symétrique (normale), dissymétrique (lognormale ou non). La méthode de discrétisation tiendra compte du «modèle» de distribution que la série épouse.
- Appliquer le principe de ressemblance / dissemblance. Toute discrétisation s'efforce de minimiser la variance intraclasse tout en maximisant la variance interclasse.

A. Présentation de méthodes

La discrétisation soulève deux questions:

- Combien de classes créer?
- Où placer les bornes des classes?

Le nombre de classes

Il doit évidemment être en rapport avec le nombre d'individus de la série de valeurs: sa longueur. Ainsi pour des valeurs relatives aux 22 régions métropolitaines, inutile de discrétiser en 2 classes (appauvrissement excessif) ou en 10 classes (risque de classes vides).

Outre la longueur de la série, les règles sémiologiques imposent certaines limites. L'expression graphique - et notamment cartographique - ne supporte qu'un nombre de classes limité. Si on veut que le lecteur puisse aisément distinguer les classes (perception sélective), leur nombre se limite à 5 - 7 (selon le nombre d'individus). Si, au contraire, le but de la carte est de montrer une progression plus ou moins continue, un gradient, le nombre de classes peut être nettement supérieur. Tel est le cas des cartes de diffusion.

Si on veut mathématiquement définir le nombre de classes en fonction de la longueur de la série, on peut se référer à l'une des deux méthodes les plus usuelles:

- Méthode de Huntsbeerger: le nombre optimal de classes est

$$k = 1 + 3.3 \log_{10} n$$

où k = nombre de classes et n = longueur de la série, son effectif total

- Méthode de Brooks-Carruthers: le nombre optimal de classes est

$$k \leq 5 \log_{10} n$$

La discrétisation

Seront présentées ici les méthodes de discrétisation les plus utilisées: mathématiques, statistiques et graphiques.

- **Discrétisation par équidistance**: appelée aussi **discrétisation en classes d'amplitude égale**. L'écart entre les classes est constant. Il suffit de diviser la dynamique de la série (maximum – minimum) par le nombre de classes souhaité.
  Avantages et inconvénients: Facile à réaliser, mais la qualité de la discrétisation est tributaire de la distribution des valeurs de la série. Ainsi cette méthode risque de produire des classes vides si la distribution est asymétrique ou comporte des fortes discontinuités pour une étendue donnée (par exemple la densité de la population par région où l'Ile de France se détache nettement du reste du territoire français (cf. l'exemple développé ci- dessous).

- **Discrétisation par progression arithmétique**: contrairement à la discrétisation par équidistance, l'amplitude des classes augmente selon une progression arithmétique à raison de R. R étant la dynamique (étendue) de la série divisée par l'addition des classes. Exemple pour 5 classes:

$$R = (max - min) / (1 + 2 + 3 + 4 + 5)$$

  L'amplitude des classes: classe n°1: min – min+R, classe n° 2: min+R – min+2R, etc.
  Avantages et inconvénients: La méthode est conçue pour les distributions asymétriques avec beaucoup de valeurs faibles et peu de valeurs fortes (cf. l'exemple développé ci-dessous). Si, au contraire, la distribution s'apparente à la loi normale, la méthode n'est pas adaptée.

- **Discrétisation par équifréquence**: appelée également **discrétisation selon les quantiles** ou **par équipopulation**. Toutes les classes ont, dans la mesure du possible, le même nombre d'individus. La réalisation repose sur un tri par ordre croissant des individus de la série et le calcul du nombre idéal d'individus par classe (nombre d'individus / nombre de classes). On affecte alors les individus de la série selon leur rang aux classes successives. Les bornes des classes peuvent être définies par les valeurs extrêmes de chaque classe. Une autre méthode, qui ne change en rien l'effectif des classes, consiste à calculer les bornes par interpolation simple entre les deux valeurs successives appartenant à deux classes successives: (valeur maximale de la classe n + valeur minimale de la classe n+1)/2. Pour le confort de lecture, on peut les arrondir.
  Avantages et inconvénients: La discrétisation selon les quantiles diminue le poids des valeurs extrêmes. Elle les nivelle en les regroupant avec des valeurs plus proches de la moyenne pour équilibrer les classes. De ce point de vue son effet est comparable à un filtre passe-bas (lissage) en traitement d'image. Il s'agit, en cartographie, de la méthode qui affecte à chaque classe le même nombre d'unités spatiales. Par conséquent, la carte est visuellement la plus riche, la plus équilibrée mais pas forcément la plus juste car elle masque les fortes discontinuités (par exemple l'Ile de France sera regroupée avec des régions nettement moins peuplées, cf. l'exemple ci-dessous). Plus généralement, la méthode peut regrouper des individus assez éloignés et, par conséquent, ne pas respecter les seuils dans la distribution.

- **Discrétisation selon les moyennes emboîtées** : la moyenne arithmétique divise la série en deux classes primaires. Leurs moyennes respectives les divisent à leur tour en deux et de suite. Le nombre de classes est toujours un multiple de 2 ce qui peut s'avérer contraignant.
  Avantages et inconvénients: La méthode est basée sur la moyenne considérée comme centre de gravité de la distribution ainsi que sur les moyennes des sous-ensembles. L'inconvénient majeur est la rigidité de la méthode en nombre de classes: multiple de 2. La moyenne peut également découper des ensembles de valeurs proches (non respect des seuils naturels de la distribution).

- **Discrétisation standardisée**: elle se base sur une distribution supposée proche de la loi normale. On calcule la moyenne arithmétique (point de référence) et l'écart-type en tant qu'indicateur de l'amplitude des classes. Si le nombre de classes est pair, la moyenne sépare les deux classes centrales. Si le nombre de classes est impair, la moyenne est au centre de la classe centrale. L'ampleur des classes est généralement d'un écart-type.
  Avantages et inconvénients: Cette méthode est d'autant plus adaptée que la distribution des valeurs de la série est proche de la distribution normale. Elle est également utilisée pour la comparaison (séries de cartes). Si la distribution des valeurs n'est pas normale mais pourrait la devenir en tenant compte d'un facteur de progression (lognormal ou autre), il convient de l'appliquer. Dans le cas contraire, il est possible (attention toutes les distributions ne s'y prêtent pas) de la normaliser: la transformation (cf., entre autres, LAHOUSSE & PIEDANNA, 1998).

- **Discrétisation selon la méthode de Jenks** : elle se base sur le principe de ressemblance / dissemblance en calculant la distance paramétrique entre toutes les valeurs de la série. La méthode minimise la variance intraclasse et maximise la variance interclasse. Il s'agit d'un algorithme itératif formant, dans un premier temps, autant de couples qu'il y a de combinaisons de valeurs (triées par ordre croissant) pour un nombre de classes donné. On calcule alors la variance intraclasse et interclasse.

Avantages et inconvénients: Il s'agit d'une méthode respectant l'allure de la série mais elle ne permet pas de les rendre comparables entre elles. Cette méthode est certainement la plus adaptée des méthodes statistiques. Sa mise en œuvre nécessite l'emploi d'un logiciel statistique.

- **Discrétisation manuelle**: appelée aussi méthode des seuils observés. Contrairement aux autres méthodes, il s'agit d'une méthode manuelle où l'opérateur découpe la série visualisée graphiquement (histogramme de fréquence) selon les discontinuités (seuils). Le nombre de classes résultant est un compromis entre l'allure de la série (seuils, discontinuités) et le nombre initialement projeté.
  Avantages et inconvénients: Le méthode convient d'autant plus que la distribution est «typée» (série asymétrique, plurimodale). De ce point de vue il s'agit de la méthode opposée à la discrétisation par équifréquence notamment préconisée en cas de répartition uniforme des valeurs. La discrétisation manuelle s'appuyant sur des seuils observés est certainement la méthode de bon sens dans la mesure où elle produit des cartes équilibrées graphiquement tout en épousant la distribution de la série. Elle a l'avantage d'obliger l'opérateur à analyser graphiquement la série de valeurs. Un tel examen graphique (histogramme de fréquence) devrait précéder toute discrétisation (aveugle).
  La significativité des discontinuités observées dépend néanmoins de la longueur de la série. Ainsi, le constat d'un seuil dans une population de 500 individus est autrement plus significatif que l'observation de la même discontinuité dans une population nettement plus réduite. D'autre part, l'observation même dépend étroitement du choix de la finesse graphique de l'échelle de l'histogramme de fréquence. De ce point de vue, la méthode paraît bien subjective.
  Bien que manuelle, des possibilités d'automatisation existent: une fois triés les individus par ordre croissant de leur valeur, on calcule l'écart entre deux rangs successifs. Dès que l'écart dépasse un seuil préalablement établi ou calculé de manière circonstancielle (moyennes mobiles), l'algorithme place la borne d'une classe.

B. Exemple: la densité de population par région

Mise à part la méthode de Jenks, pour laquelle il faut disposer d'un programme statistique, nous illustrons les méthodes de discrétisation par un exemple simple: la densité de population (habitants / km²) par région (données du recensement 1990, France métropolitaine).

Région	hab/km²
CORSE	28.77
LIMOUSIN	42.67
AUVERGNE	50.81
BOURGOGNE	50.97
CHAMPAGNE-ARDENNE	52.65
MIDI-PYRENEES	53.62
CENTRE	60.56
POITOU-CHARENTES	61.82
AQUITAINE	67.69
FRANCHE-COMTE	67.73
LANGUEDOC-ROUSSILLON	77.30
BASSE-NORMANDIE	79.14
PICARDIE	93.35
PAYS DE LA LOIRE	95.31
LORRAINE	97.95
BRETAGNE	102.75
RHONE-ALPES	122.48
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	135.66
HAUTE-NORMANDIE	141.09
ALSACE	196.20
NORD-PAS-DE-CALAIS	319.49
ILE-DE-FRANCE	887.59

Descripteurs de la série et nombre de classes souhaitées (5):

Indicateurs		
Nombre d'individus	n	22
Maximum	max	887.59
Minimum	min	28.77
Moyenne arithmétique	x	131.16
Ecart-type	σ	180.41

Nombre de classes souhaité	k	5

Discrétisation par équidistance		
Amplitude a=(max-min)/k=171.76		valeur
Borne 0	min	28.77
Borne 1	min + a	200.53
Borne 2	min +2a	372.30
Borne 3	min +3a	544.06
Borne 4	min +4a	715.82
Borne 5	max	887.59

Discrétisation par progression arithmétique		
Amplitude a = n° de classe * R où R = (max-min)/(1+2+3 …		valeur
Borne 0	min	28.77
Borne 1	min +R	86.02
Borne 2	borne2 +2R	200.54
Borne 3	borne3 +3R	372.30
Borne 4	borne 4 + 4R	601.32
Borne 5	max = borne5+5R	887.59

Discrétisation par équifréquence			
Amplitude a =n/k = 4.4			valeur (interpolé)
Borne 0	1	1.00	28.77
Borne 1	a	4.4 -> 4	51.81
Borne 2	2a	8.8 –>9	67.71
Borne 3	3a	13.20 -> 13	94.53
Borne 4	4a	17.60 -> 18	138.36
Borne 5	n	22.00	887.59

Nombre d'individus par classe: classe n°1=4, classe n°2=5, classe n°3=4, classe n°4=5, classe n°5=4

Discrétisation par moyennes emboîtées		
	(4classes)	valeur
moyenne 1ère classe primaire	x2a	70.92
moyenne 2ème classe primaire	x2b	336.00
Borne 0	min	28.77
Borne 1	x2a	70.92
Borne 2	x	131.16
Borne 3	x2b	336.00
Borne 4	max	887.59

Discrétisation standardisée		
		valeur
Borne 0	x - 2.5 s (ou min)	-229.66
Borne 1	x - 1.5 s	-139.46
Borne 2	x - 0.5 s	40.96
Borne 3	x + 0.5s	221.37
Borne 4	x + 1.5s	401.78
Borne 5	x + 2.5s (ou max)	887.59

Discrétisation manuelle par seuils observés

Plusieurs discrétisations sont possibles. La solution proposée individualise les deux régions les plus densément peuplées séparément. Il en résulte six classes.

Discrétisation manuelle des seuils observés			
		valeur	nombre de régions
Borne 0	min	28.77	2
Borne 1		50	8
Borne 2		77	6
Borne 3		103	4
Borne 4		200	1
Borne 5		400	1
Borne 6	max	887.59	

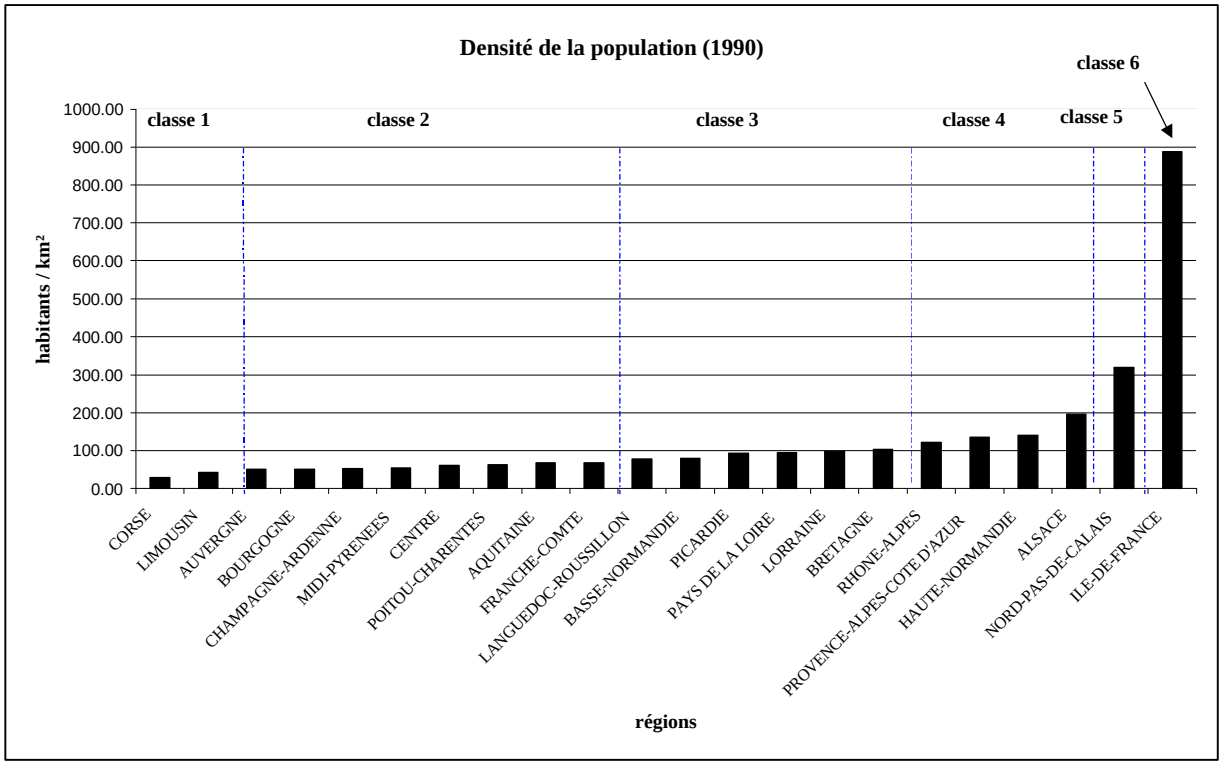
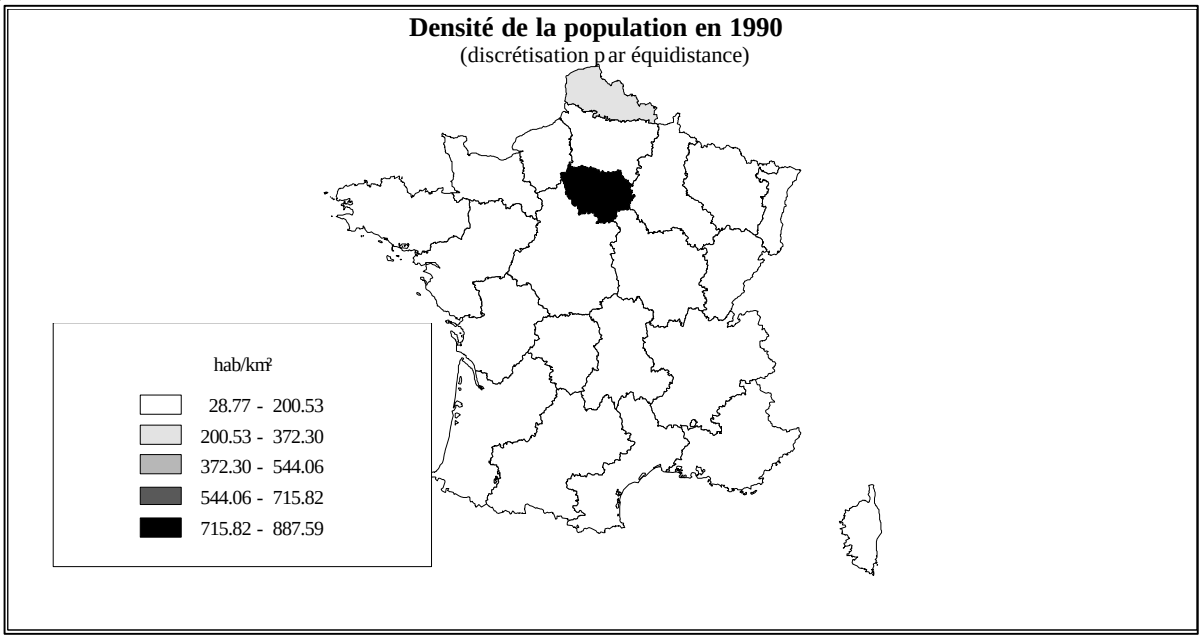
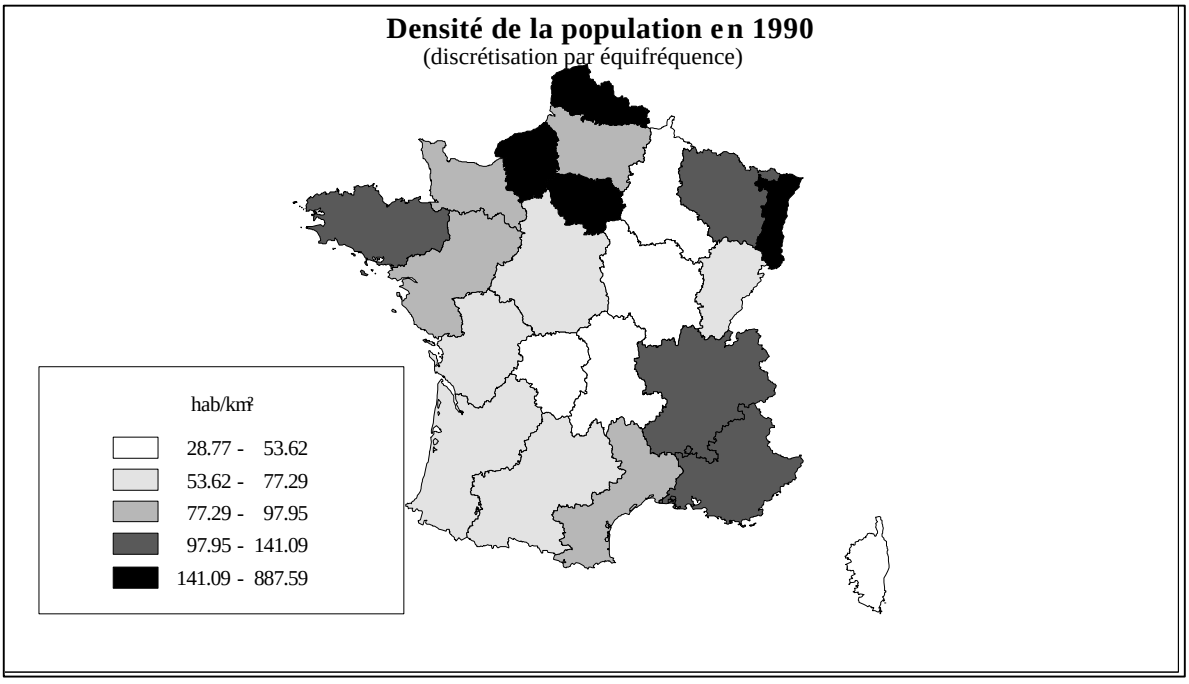


Fig. 85: Densité de la population par région en 1990 : série de données, descripteurs statistiques, discrétisations, histogramme de fréquence et seuils observés

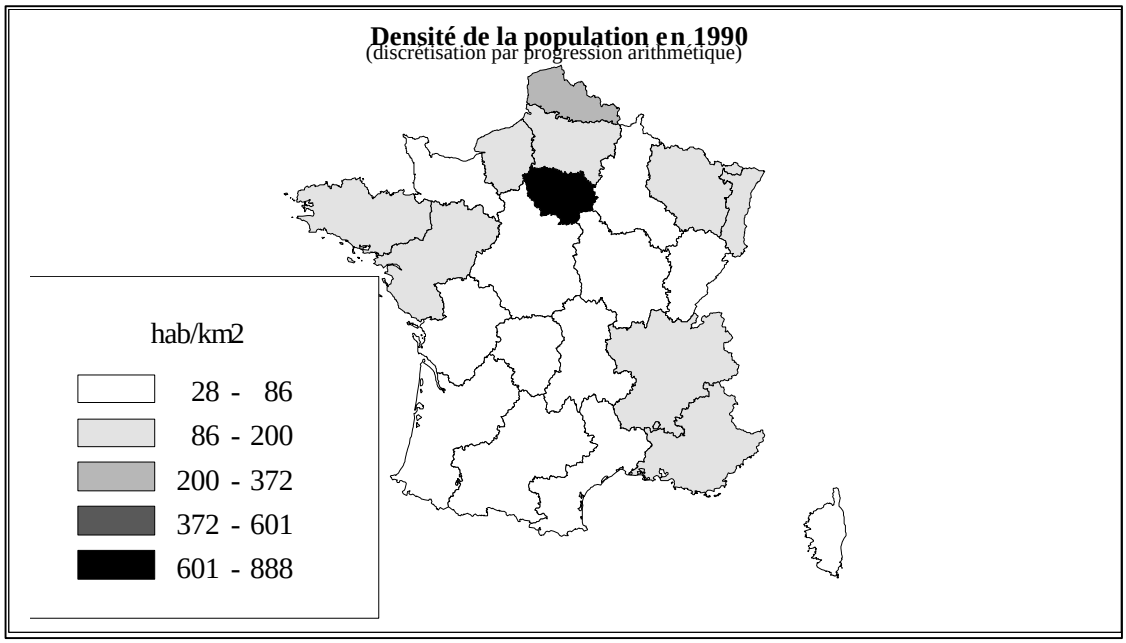
a)


Densité de la population en 1990
(discrétisation par équidistance)
hab/km²
28.77 - 200.53
200.53 - 372.30
372.30 - 544.06
544.06 - 715.82
715.82 - 887.59

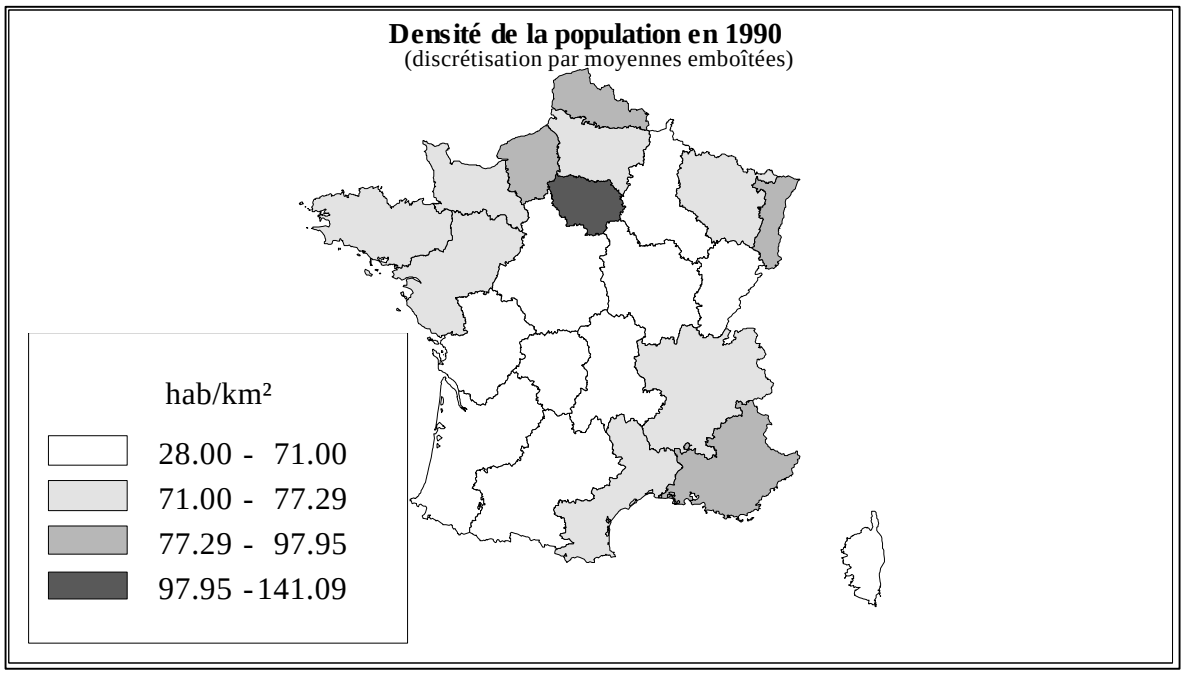
b)


Densité de la population en 1990
(discrétisation par équifréquence)
hab/km²
28.77 - 53.62
53.62 - 77.29
77.29 - 97.95
97.95 - 141.09
141.09 - 887.59

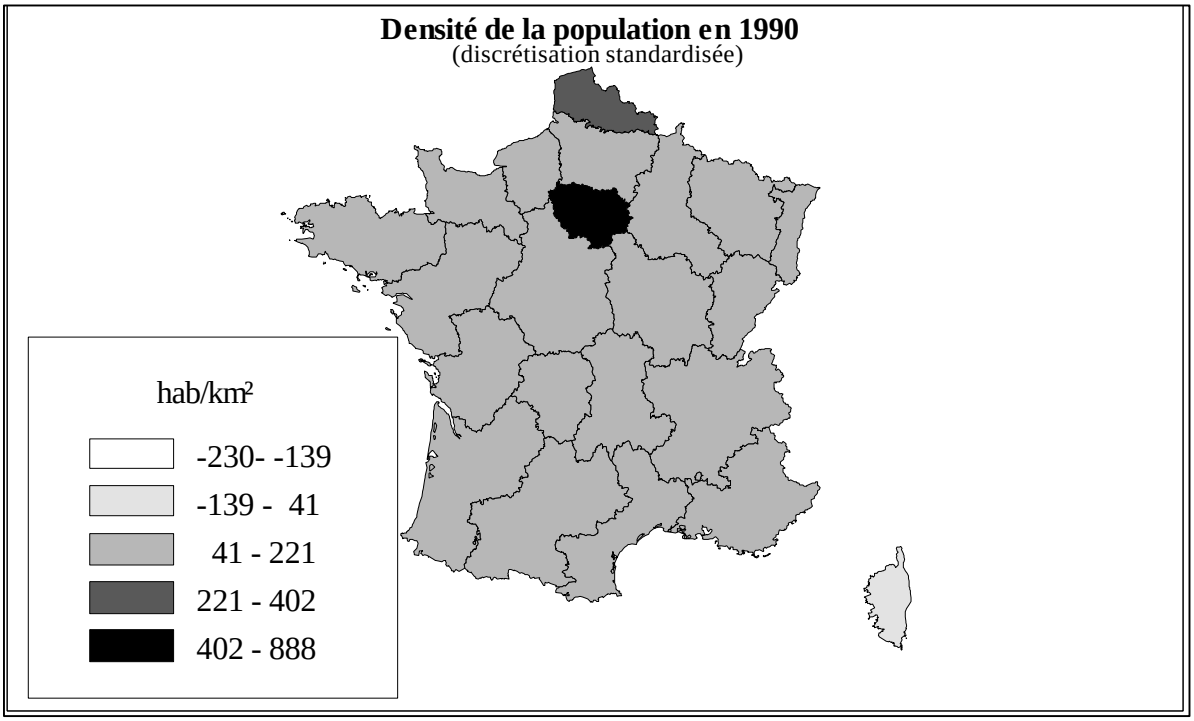
c)


Densité de la population en 1990
(discrétisation par progression arithmétique)
hab/km2
28 - 86
86 - 200
200 - 372
372 - 601
601 - 888

d)


Densité de la population en 1990
(discrétisation par moyennes emboîtées)
hab/km²
28.00 - 71.00
71.00 - 77.29
77.29 - 97.95
97.95 - 141.09

e)



f)

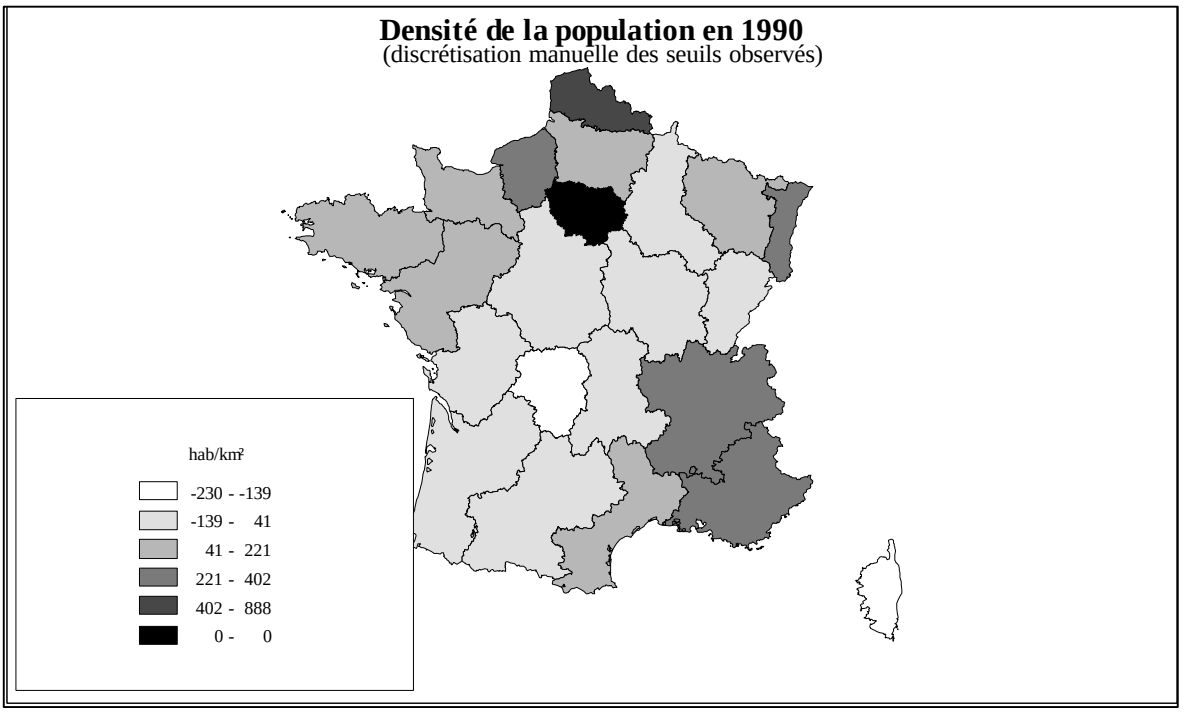


Fig. 86: Cartes de la densité de la population par région en 1990

A chaque méthode une image de la France. On est tenté de croire qu'il n'y a pas de cartes justes - il y a juste des cartes. Pourtant la fig. 86 nous enseigne que:

- la discrétisation par équidistance produit trop de classes vides, - l'image est uniforme
- la discrétisation par équifréquence nivelle trop les données – l'image n'est pas significative
- la discrétisation par moyennes emboîtées n'est pas adaptée pour cause de série asymétrique
- la discrétisation standardisée n'est pas adaptée non plus (la série ne suit pas une distribution normale des valeurs)
- que la discrétisation manuelle par seuils observés et par progression arithmétique sont certainement les deux méthodes les plus adaptées à la distribution des valeurs de la série si étendue et asymétrique.

Enfin, l'essentiel est d'être honnête, c'est-à-dire avoir une démarche transparente et indiquer la méthode employée.

C. Exercice: Discrétisation

1. A partir du tableau (fig. 87 et du fond de carte :fig. 88), réaliser, pour chaque méthode présentée, une discrétisation ainsi que la carte correspondante. Nombre de classes souhaitées: 5. Exprimer la densité de routes nationales en km/km² en 1990 par la valeur en implantation surfacique.

Densité des routes nationales en 1990	
Région	**km/km²**
ALSACE	481
AQUITAINE	1 314
AUVERGNE	987
BASSE-NORMANDIE	809
BOURGOGNE	1 237
BRETAGNE	1 135
CENTRE	1 566
CHAMPAGNE-ARDENNE	1 083
CORSE	569
FRANCHE-COMTE	828
HAUTE-NORMANDIE	758
ILE-DE-FRANCE	1 148
LANGUEDOC-ROUSSILLON	1 290
LIMOUSIN	657
LORRAINE	1 257
MIDI-PYRENEES	1 482
NORD-PAS-DE-CALAIS	848
PAYS DE LA LOIRE	1 668
PICARDIE	1 360
POITOU-CHARENTES	1 064
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	1 018
RHONE-ALPES	2 399

Indicateurs		
Nombre d'individus	n	22
Maximum	max	2 399
Minimum	min	481
Moyenne arithmétique	x	1 134
Ecart-type	σ	414

Nombre de classes souhaité	k	5

Source : selon E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 87 : Densité des routes nationales (km/km²) en 1990 par régions (France métropolitaine) et descripteurs clé

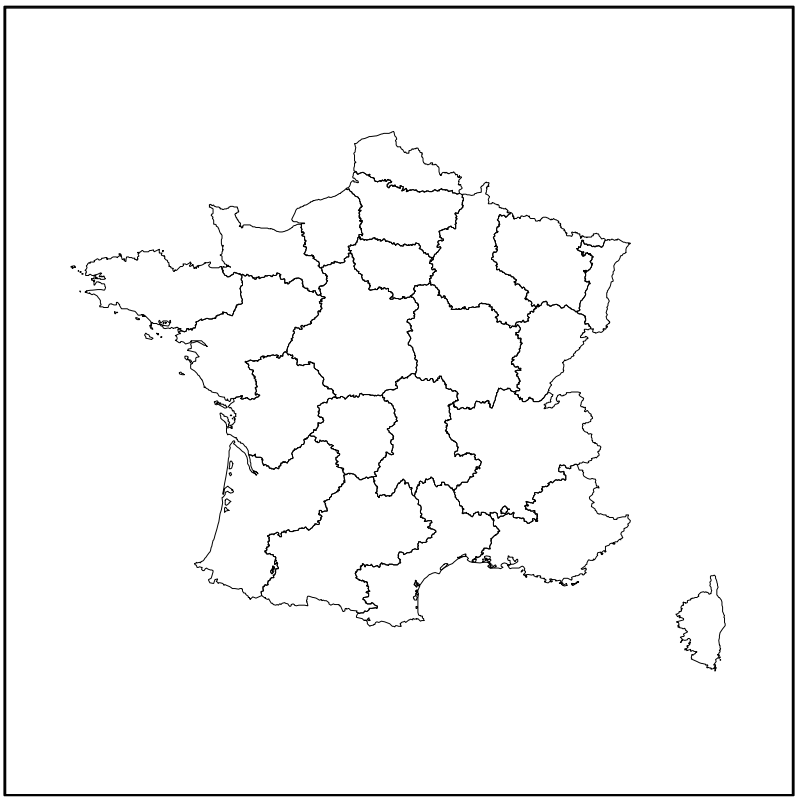


Fig. 88 : Découpage régional de la France

11. Traitements graphiques sans et avec perte de l'information

Contrairement à la réduction d'information par discrétisation qui s'opère avant l'expression graphique, on présentera ici des méthodes ayant pour but de simplifier le graphique pour le rendre simplement plus lisible ou pour en faire une image. Parmi ces traitements d'information on distingue entre:

- les traitements **sans** perte d'information: **diagonalisation et transformation**
- les traitements **avec** perte d'information: **généralisation et lissage**

A. Diagonalisation et transformation

Un traitement sans perte d'information est possible lorsqu'on manipule une composante **qualitative** que l'on peut ordonner ce qui suppose que les informations ne sont pas localisées dans un référentiel spatial (ordonnées géographiquement). Par conséquent, cette mise en ordre peut s'effectuer pour:

- les réseaux - la **transformation**
- les diagrammes - la **diagonalisation**.

Transformation

Il s'agit d'ordonner la seule composante qualitative du réseau afin de simplifier le graphique et, notamment, de limiter les intersections. La fig. 89 montre un réseau représentant les communications entre six individus. Le réseau de gauche est conçu de façon quelconque. Dans le réseau à droite, les catégories ont été positionnées afin de minimiser les intersections: la transformation du réseau.

Fig. 89: Transformation d'un réseau. A gauche: réseau représentant des communications entre 6 individus. A droite: le même réseau transformé

Diagonalisation

Le terme diagonalisation repose sur l'observation que tout tri dans un champ orthogonal tend vers la réalisation d'une diagonale ou une forme apparentée. Sur le plan visuel, la diagonalisation s'efforce de simplifier le graphique. On ordonne une composante qualitative par rapport à une autre composante (quel que soit son niveau). La correspondance parfaite entre deux composantes s'exprime (dans le champ orthogonal) par une diagonale signifiant selon sa pente corrélation positive ou négative.

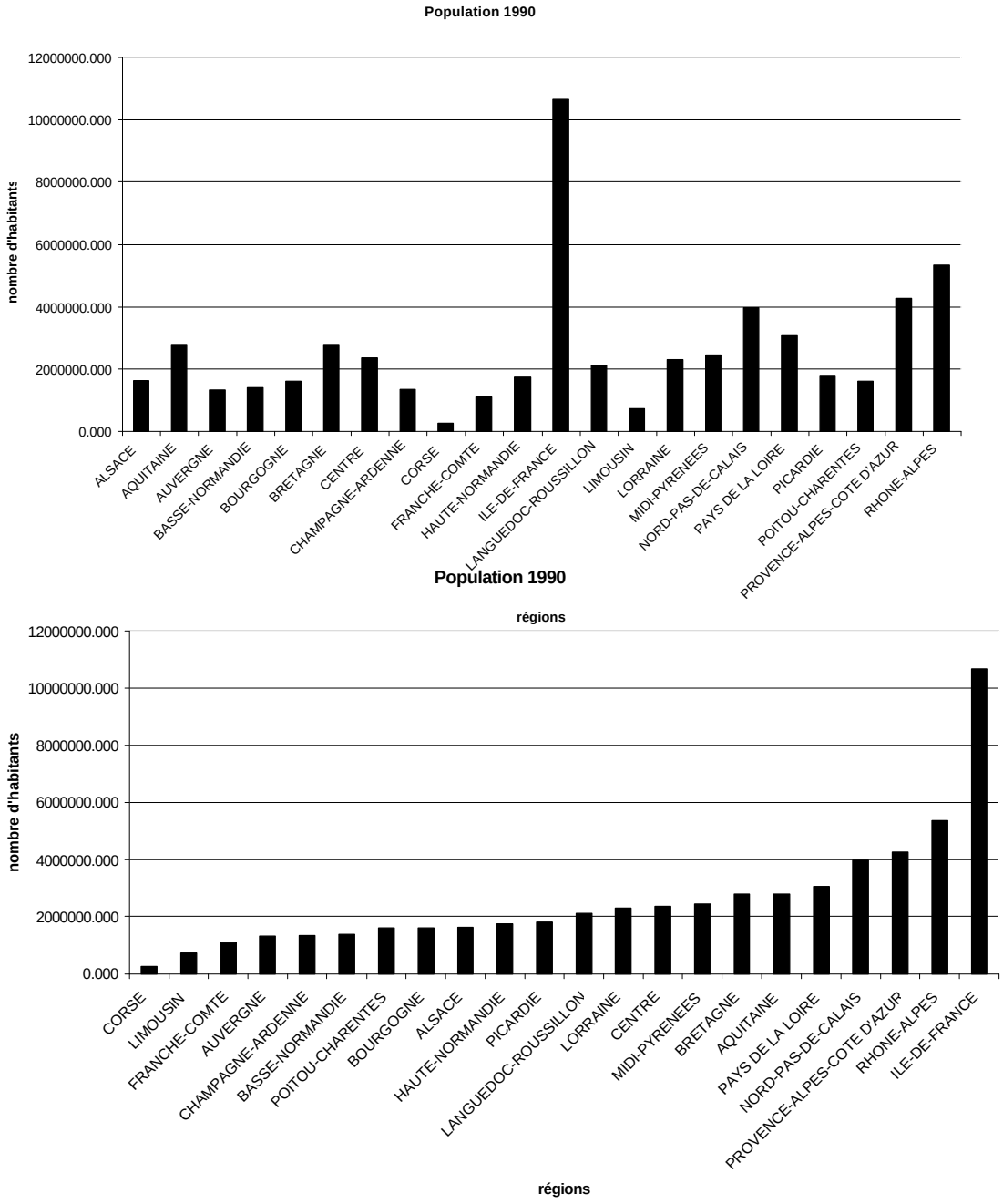


Fig. 90: Diagramme orthogonal – nombre d'habitants par région (France métropolitaine, 1990). En haut: tri alphabétique des régions; en bas: tri des régions selon leur population

La fig. 90 représente la population des 22 régions en 1990. Il s'agit d'un diagramme à deux composantes: la composante qualitative (régions) et la composante quantitative (nombre d'habitants). La diagonalisation consiste en un simple tri de la composante qualitative selon les valeurs de la composante quantitative.

Si les deux composantes d'un diagramme sont qualitatives, la diagonalisation se fait par un double tri (cf. fig. 91)

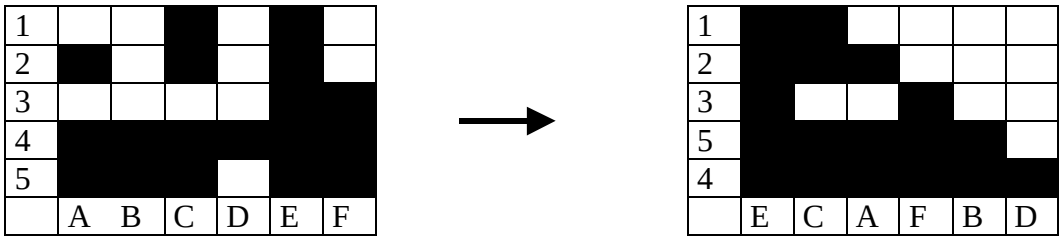
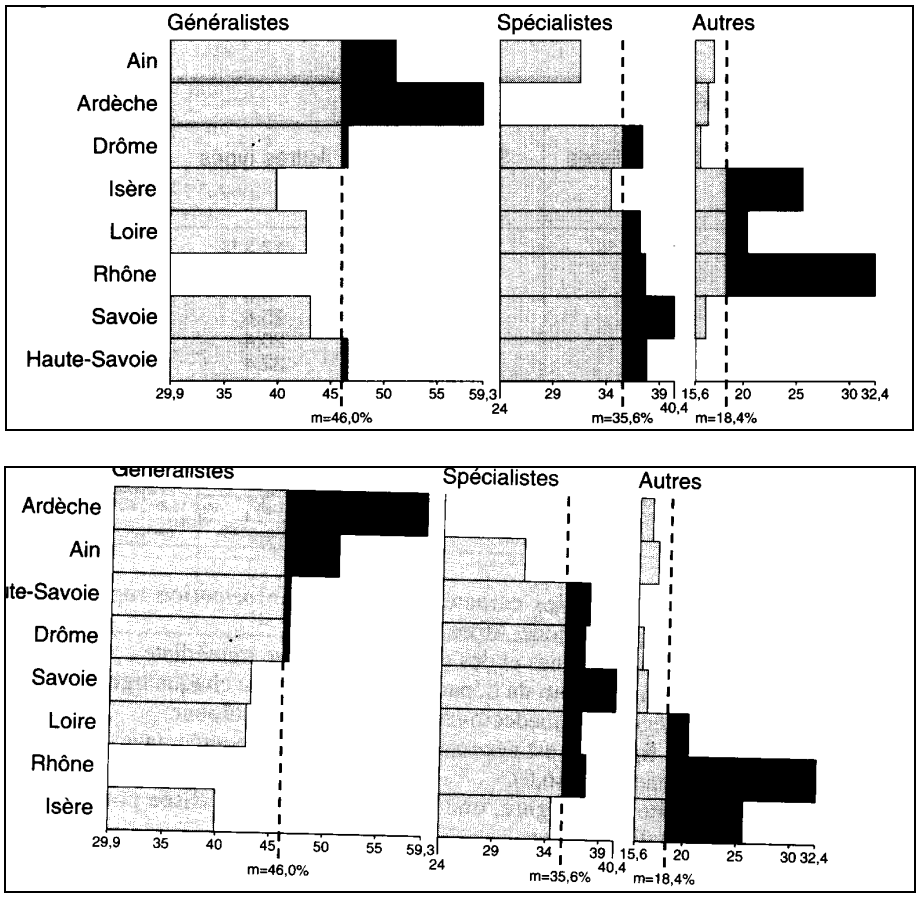


Fig. 91: Diagramme à deux composantes qualitatives (pays: A-F et caractéristiques économiques: 1-5), diagonalisé à droite (selon BERTIN, 1973 – modifié)

Lorsque le diagramme exprime trois composantes, le principe de diagonalisation est le même. Cependant sa réalisation peut s'avérer plus complexe, notamment en présence d'un nombre de catégories élevé (cf. fig. 92). La réalisation manuelle est relativement simple:



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 92 : Principe de diagonalisation d'un diagramme

- on réalise le diagramme "brut" selon le tableau de données
- on découpe les lignes (l'axe exprimant la composante qualitative)
- on permute les lignes afin de les trier par ressemblance les unes aux autres et par tendance dans leur ensemble.

B. Généralisation et lissage

Ces traitements entraînant une perte d'information s'appliquent aux:

- diagrammes si la composante est ordonnée ou quantitative:- le **lissage**
- cartes où chaque composante est ordonnée géographiquement: la **généralisation**.

Lissage

Il existe une grande variété d'algorithmes de lissage, basés, pour la plupart, sur la moyenne mobile. Le lissage peut se faire par le calcul d'une nouvelle courbe interpolée ou par réduction du nombre d'arcs. Pour cette dernière, il existe une méthode simple qui consiste à mesurer la perpendiculaire entre le point n+1 et une droite reliant le point n de la courbe au point n+2 (cf. fig. 93). Si la longueur de la perpendiculaire dépasse le seuil, le nœud est enlevé. Un nouvel arc remplace deux existants.

Fig. 93: Lissage par réduction d'arcs (le trait épais représente la ligne, le trait en tireté la droite entre les points n et n+2, le trait continu fin la perpendiculaire)

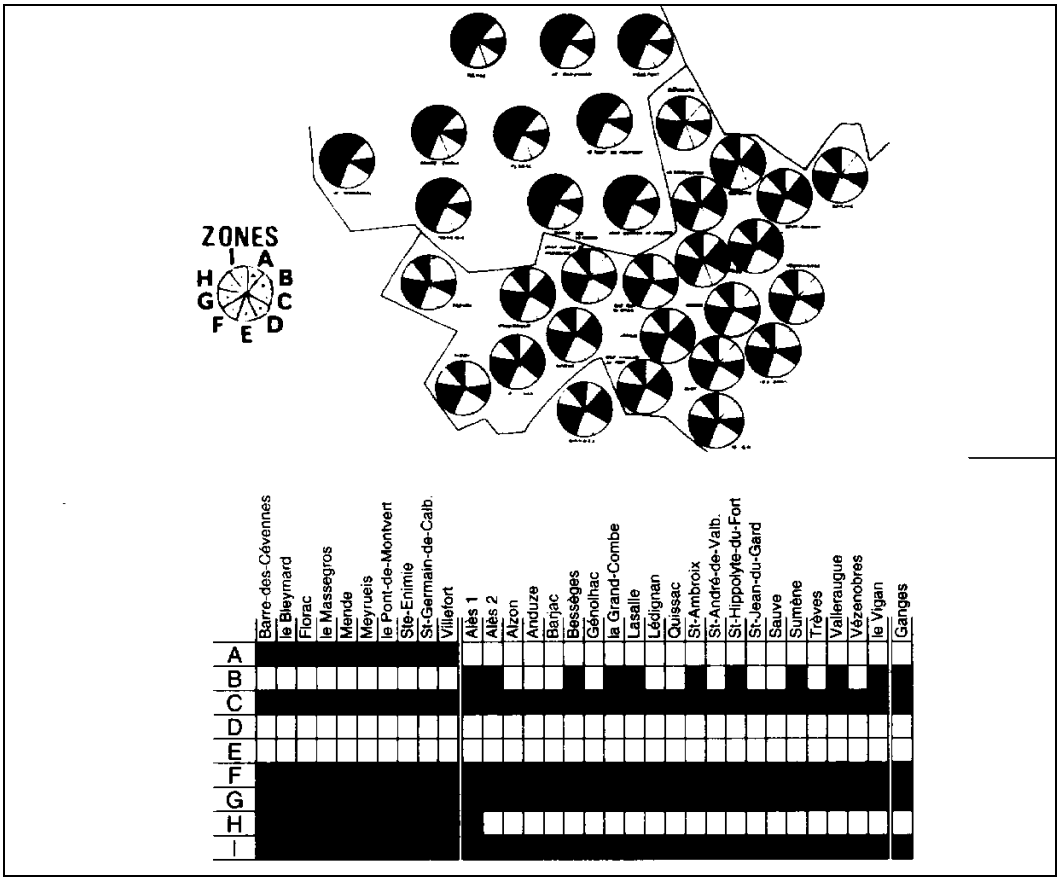
Ces méthodes sont automatisées pour les graphiques vectoriels numériques où les objets sont construits par des primitives graphiques: points (nœuds), lignes (arcs), polygones. Une ligne complexe étant toujours une succession d'arcs, c'est-à-dire de droites élémentaires.

Généralisation

Le principe du lissage s'applique aussi aux cartes. On parle de la généralisation d'un trait de côte ou de la forme du pays. Néanmoins la généralisation, qui s'impose notamment lors de la réduction de l'échelle, sous-entend un processus de simplification des informations contenues dans la carte qui va plus loin que la simplification des éléments graphiques. Il englobe également l'hiérarchisation de l'information et, par conséquent, sa sélection quantitative (nombre d'objets) et qualitative (type d'objets). Cette généralisation est incontournable lors de la réduction d'échelle de cartes complexes comme par exemple la carte topographique (cf. fig. 18). Si le procédé est très long et forcément manuel pour les cartes analogiques, il est (peut être) automatisé pour les cartes numériques.

C. Exercice : Diagonalisation

1. A partir du tableau de la fig. 94, réaliser une diagonalisation. Peut-elle aider à rendre la carte plus efficace? Proposer une expression cartographique plus lisible.



Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 94 : Aides au développement régional et à l'amélioration des structures des entreprises

12. Objectif du graphique et choix d'expression

A. La fonction du graphique

La construction graphique, expressive et efficace, suppose au préalable la définition de l'objectif de la représentation[20].

Schématiquement on distingue trois fonctions de la carte:

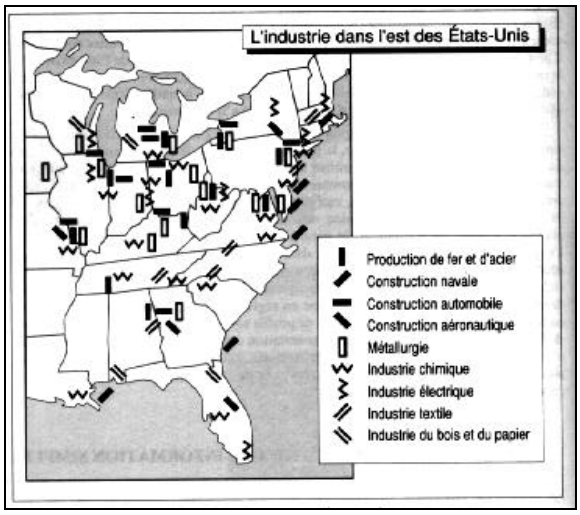
- enregistrer l'information – la carte d'inventaire
- communiquer l'information – la carte de message
- traiter l'information – la carte de travail

La carte d'inventaire

La représentation graphique a pour fonction de créer une mémoire artificielle qui évite l'effort de la mémorisation.
Le plus important dans ce type de dessin est que l'information représentée soit exhaustive. La facilité de lecture est secondaire. La carte n'est qu'un support d'enregistrement et cet enregistrement doit se faire rapidement, notamment sur le terrain.

> *Il en résulte que la carte d'inventaire n'est régie que par les règles de lisibilité et qu'elle s'accommode du niveau élémentaire de lecture.*

Exemples:



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 95: L'industrie dans l'est des Etats-Unis

[20] Nous développons ici le cas de la cartographie. Le schéma est également valable pour les diagrammes

La composante thématique est exprimée par la forme – la lecture reste élémentaire.

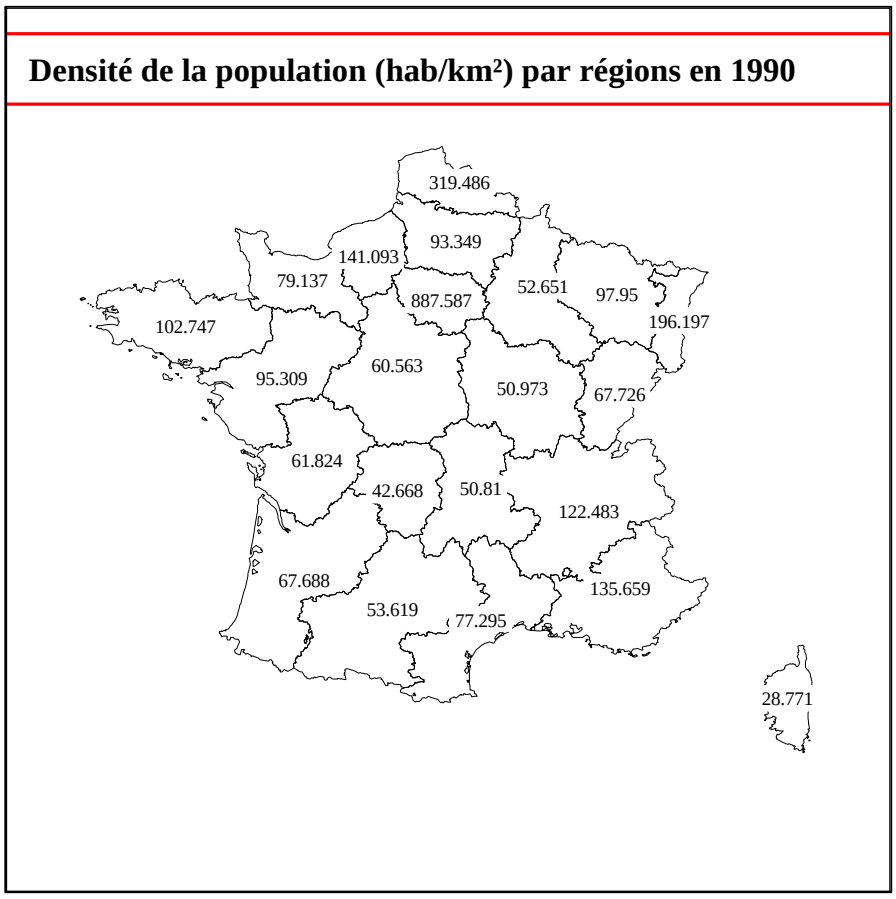


Fig. 96: Densité de la population en 1990.

Il s'agit d'une carte d'inventaire. Le fond de la carte (composante géographique) n'est que le support d'un inventaire chiffré.

La carte de message

Pour être communiquée, l'information complexe doit être traitée dans le but d'une simplification. Communiquer graphiquement veut dire:

- transmettre l'essentiel de l'information
- créer une ou plusieurs images mémorisables

La communication graphique efficace, c'est-à-dire celle qui respecte les règles de la sémiologie graphique, d'une information complexe implique un traitement de l'information en amont de la représentation.

Les cartes-messages sont souvent simplifiées et s'efforcent de rendre les grands traits de l'information. Elles doivent assurer une lecture au niveau supérieur.

Exemples:

Fig. 86: Six cartes de la densité de population par région en 1990. La série de cartes illustre l'importance du mode de discrétisation.
Fig. 97: Comme la série de cartes précédente, cette carte se base sur la carte d'inventaire précitée (fig. 96) mais ni le nombre de classes, ni les seuils ont été choisis en respectant la distribution des valeurs de la série. La carte appauvrit outre mesure l'information, elle la dénature.

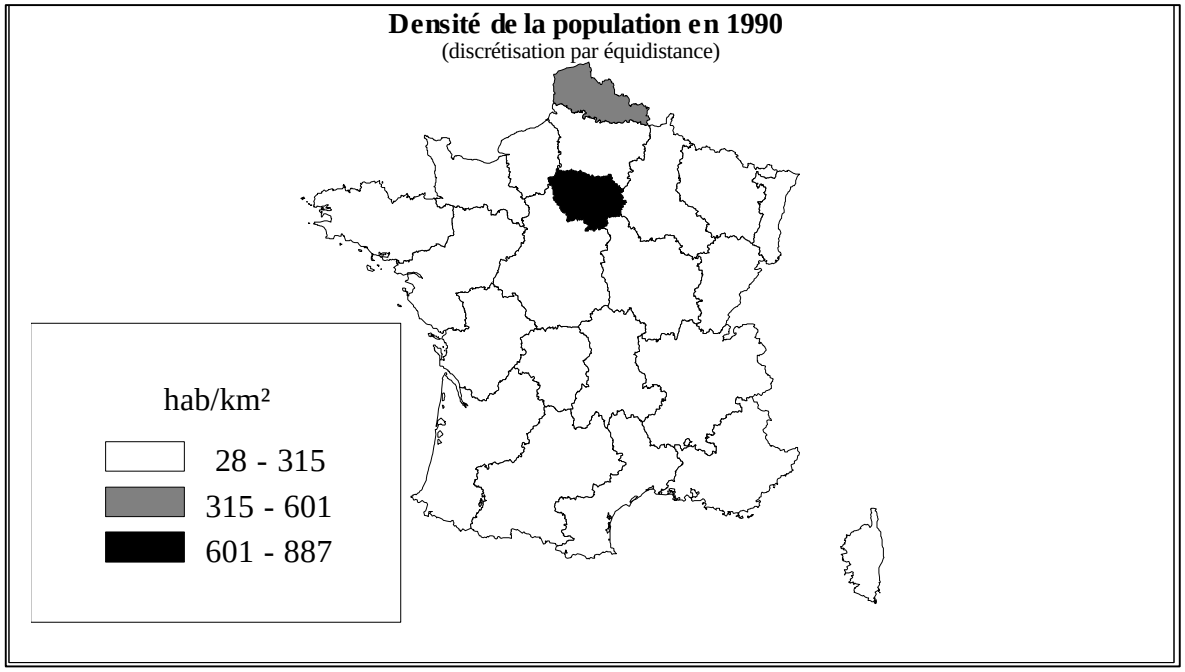


Fig.97 : Densité de la population en 1990 – la carte impose une image faussée par une discrétisation inadaptée.

Simplifier une information pour qu'elle devienne communicable et mémorisable sans la trahir ni la détruire est un processus que l'on appelle le traitement de l'information.

La carte de travail

Le traitement de l'information dans le but de sa simplification ne peut être efficace que si la totalité de l'information dont on dispose est soumis au traitement. On utilisera donc des cartes d'inventaire, des fichiers numériques ou d'autres supports exhaustifs.
Le traitement doit être vérifiable ; on doit pouvoir réitérer les traitements. A moins de recourir à des procédures statistiques ou à des méthodes d'analyse spatiale élaborées, la marche à suivre classique consiste à décomposer l'information complexe en plans d'information monothématiques qui forment des images. Un tel jeu de cartes simples permet par comparaison, superposition ou croisement informatique (opérateurs logiques) de découvrir les ressemblances/dissemblances dans la répartition spatiale des composantes; étape préparatoire à un zonage ou une régionalisation, ... une discrétisation de l'information.

B. Type et niveau de questions ou l'efficacité du graphique

L'efficacité d'un graphique dépend de l'analyse de l'information et de sa traduction graphique correcte: variables rétiniennes, niveaux de perception, type de construction, … Elle se mesure aussi par les réponses que le graphique donne aux questions posées et le temps de perception nécessaire pour y parvenir. On distingue entre type de question et niveau de question (ou de lecture).

Les types de question

Il y a autant de types de question que de composantes dans une information.
Dans le diagramme de la fig. 30 deux types de questions peuvent être posés:

- Tel jour, quel est le cours de l'action X?
- Tel cours, quel jour a-t-il été atteint par l'action X?

Les niveaux de question

On distingue schématiquement trois niveaux de lecture d'un graphique:

- **Niveau élémentaire**: la question est introduite par un seul élément d'une composante et aboutit à une seule correspondance (fig. 98 a):

  Tel jour, quel est le cours de l'action X?

  Le niveau élémentaire de lecture tend à utiliser la représentation graphique comme un réservoir d'informations dont on extrait un renseignement élémentaire pour le transcrire dans un autre système de signes (langage verbal ou mathématique).

- **Niveau moyen**: la question est introduite par un groupe d'éléments d'une composante et aboutit à un groupe de correspondances (fig. 98 b):

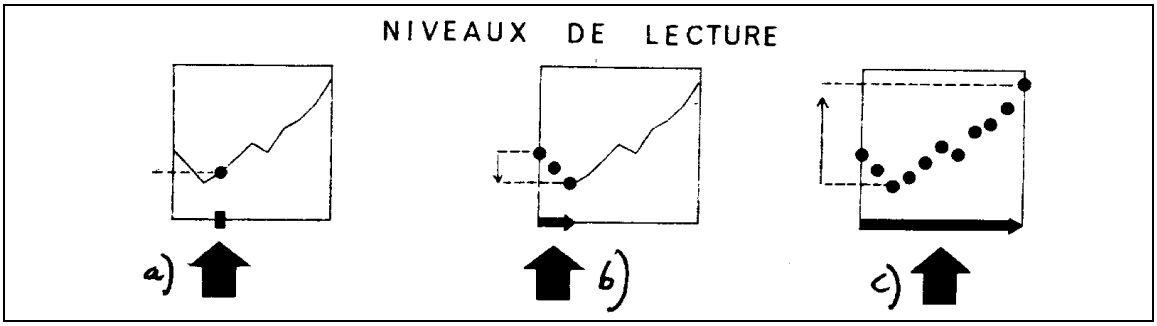
  Dans les trois premiers jours, quelle a été l'évolution du cours de l'action X?

  Les questions de ce type sont nombreuses et précèdent une discrétisation, une simplification de l'information. On tend à réduire la longueur de la composante en formant des classes plus ou moins homogènes et moins nombreuses que le nombre des éléments originaux.: on traite l'information.

- **Niveau supérieur**: la question est introduite par l'ensemble de la composante ou des composantes fig. 98 c):

  Durant toute la période, quelle a été l'évolution du cours de l'action X?

  La question tend à réduire toute l'information à une unique relation d'ordre entre les composantes.



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig. 98 : Niveaux de lecture

Ce schéma est également valable en cartographie:

- Niveau élémentaire: que y a-t-il à tel endroit?
- Niveau moyen: tentative de zonage, de régionalisation
- Niveau supérieur: relation d'ensemble, comparaison avec une autre carte.

Pour une information donnée il y a:

- autant de types de questions que de composantes
- schématiquement trois niveaux de lecture.

Ayant analysé l'information il devient possible de dresser une liste de toutes les questions qu'un lecteur peut poser. Cette analyse permet d'orienter la représentation selon l'objectif recherché. Pour un objectif précis il y a des représentations inefficaces (la recherche de la réponse dure longtemps ou n'aboutit pas) et des représentations efficaces (la réponse est instantanée).

C. Définition et limite de l'image

L'image

BERTIN (1973) définit l'image comme "une forme perceptible instantanément". Cette perception implique que le lecteur puisse isoler la partie de l'information qui correspond à son interrogation et faire abstraction du reste. La question aboutit à une image partielle de la représentation formée par toutes les correspondances originales concernées.

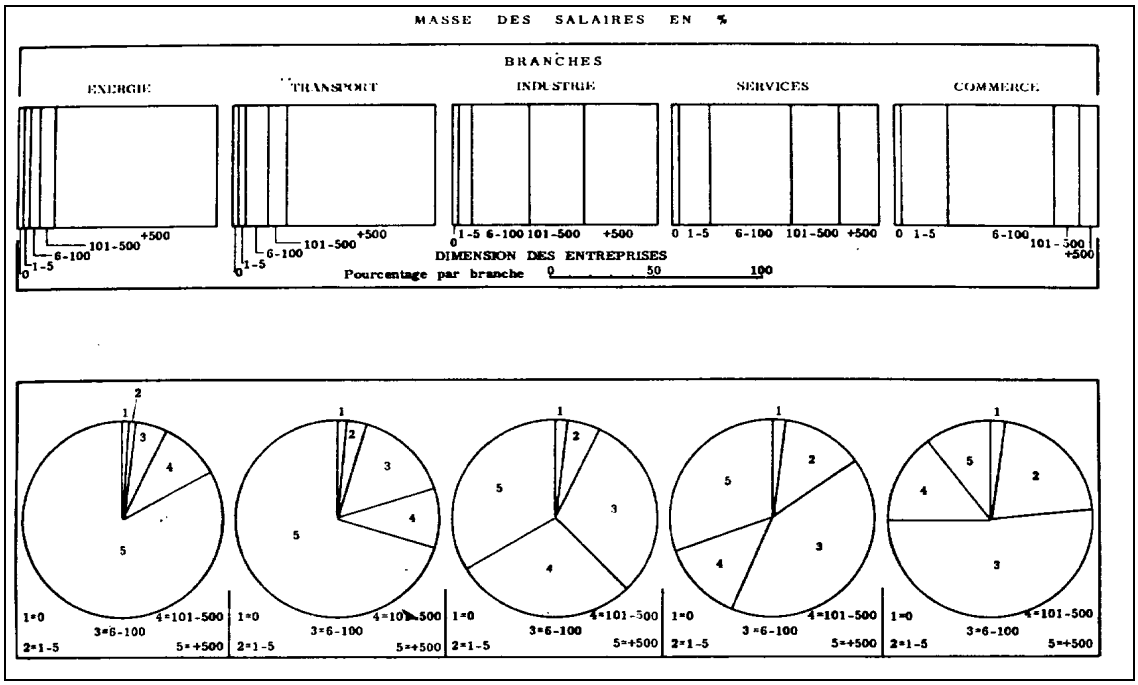
Exemple:

Fig. 30 (action X) - pour chaque niveau de lecture la réponse est immédiate. La construction est une image.

Des informations complexes nécessitent une représentation en plusieurs images successives que l'on accumule en mémoire.

Exemple: fig. 99

La figure représente la masse des salaires (%) repartie suivant cinqbranches d'activité et selon cinq tailles d'entreprises. La même information est exprimée, à titre de comparaison, par deux types d'imposition : rectiligne et circulaire.



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973

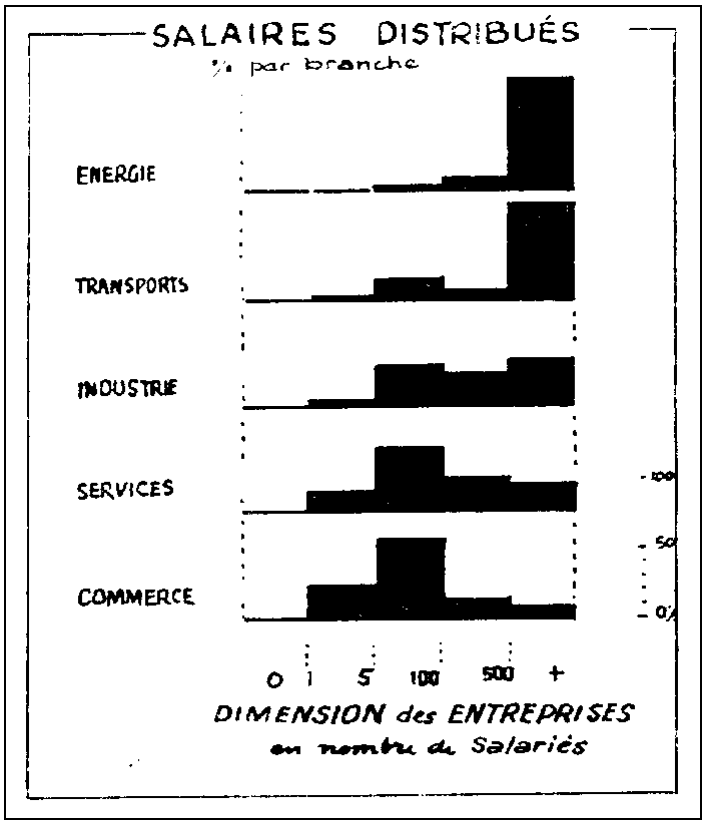
Fig. 99 : Masse de salaires (en %) selon cinq branches d'activités et cinq tailles d'entreprises

Invariant: distribution de la masse salariale	
Nom de la composante	*Niveau statistique*
masse salariale (%)	quantitatif
branche d'activité (5)	qualitatif
taille d'entreprise (5)	ordonné

Question élémentaire (introduite par la composante taille d'entreprise):
Dans quelle taille d'entreprise trouve-t-on la plus grande masse salariale pour la branche de commerce?
Réponse: [6-100] - chacun des quatre types d'imposition permet une réponse rapide.

Question élémentaire (introduite par la composante branche d'activité):
Dans quelle branche d'activité trouve-t-on le plus fort pourcentage de salaires pour les entreprises de 1 à 5 ouvriers?
Réponse: [commerce] - pour y répondre il faut comparer les cinq images quel que soit le type d'imposition. Il faut percevoir l'image, la mémoriser, la comparer aux autres et les classer. La réponse n'est plus instantanée. Le type de construction n'est pas efficace pour ce type de question.

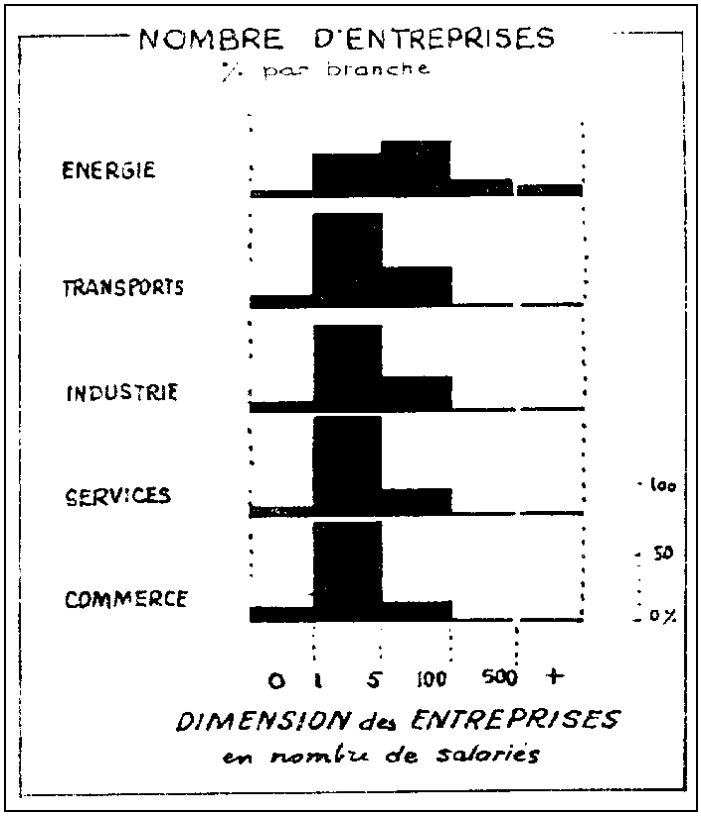
Question de niveau supérieur:
Dans quel ordre se classent les branches d'activité selon la taille des entreprises et la masse salaiale?
Réponse: [énergie, transports, industrie, services, commerce] - **impossible d'y répondre**. Quel que soit le type d'imposition la construction graphique n'est qu'une figuration se composant de cinq images élémentaires (une par branche d'activité). Outre le type de construction inadaptée, l'information doit être traitée pour devenir communicable.



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig. 100 : Masse de salaires (en %) selon cinq branches d'activités et cinq tailles d'entreprises

La fig. 100 exprime la même information. Aux mêmes questions on obtient des réponses instantanées!
La réponse est facilitée, voire suggérée, par la diagonalisation du dessin. La diagonalisation est une forme de mise en ordre de la composante qualitative *branche d'activité* selon les composantes ordonnée et quantitative.

La différence d'efficacité devient encore plus nette en complexifiant l'information. La fig. 101 exprime une information semblable: elle comporte deux composantes identiques à la figure précédente.



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973
Fig. 101 : Nombre d'entreprises (en %) selon cinq branches d'activités et cinq tailles d'entreprises

Invariant: nombre d'entreprises	
Nom de la composante	*Niveau statistique*
nombre d'entreprises (%)	quantitatif
branche d'activité (5)	qualitatif
taille d'entreprise (5)	ordonné

Une comparaison qui fait appel à ces deux informations (4 composantes au total) ne peut se faire qu'à partir des constructions graphiques 100 et 101 formant des images. La comparaison *masse salariale - nombre d'entreprises* selon les critères des deux autres composantes avec une construction du type de la fig. 99 est impossible. Cela équivaudrait à comparer et à mémoriser 5 x 5 images.

Question de niveau supérieur:
Suivant les branches d'activité et la dimension des entreprises, la masse salariale est-elle proportionnelle au nombre d'entreprises?
Réponse: Non. Dans seul coup d'œil on voit que les deux distributions sont différentes.

> *Seul le système graphique de signes - à condition d'utiliser un minimum d'images - nous permet d'intégrer en quelques instants des relations complexes.*

La construction de l'image

Tout problème graphique mobilisant deux variables visuelles a pour construction de base le schéma orthogonal:

- Diagramme (2 composantes)

La puissance de la séparation orthogonale crée l'image dans un champ homogène où tout parcours rectiligne, suggéré par la construction, regroupe des éléments identiques. Chaque variable mobilise une dimension du plan (cf. fig. 30 – action X).

- Carte (1 composante)

La composante géographique (latitude / longitude) mobilise les deux dimensions du plan (cf. fig. 88 – découpage régional de la France, fond de carte).

L'image admet 3 variables visuelles: les 2 dimensions du plan plus une variable rétinienne à condition qu'elle permette une perception au moins ordonnée (grain, valeur, taille). Cette variable rétinienne est dite de *troisième dimension* dans le champ orthogonal.

- Diagramme (3 composantes)

La composante ayant le niveau d'organisation statistique le plus élevé est rendue par la variable rétinienne (cf. fig. 100).

- Carte (2 composantes)

La composante thématique est rendue par une variable rétinienne. Dans la fig. 32 la composante quantitative est exprimée par la forme : la carte ne forme pas une image. Dans la fig. 33 elle est traduite par la taille : la carte forme une image.

Pour des informations plus complexes (plus de 3 composantes pour un diagramme, plus de 2 composantes pour une carte) il y a deux possibilités[21]:

- La construction en plusieurs images
- La superposition d'images au sein de la même construction. Pour rester efficace il faut que le nombre d'images reste très réduit et que les images soient simples - sinon la construction devient une figuration. Une telle superposition d'images est réalisée dans la fig. 56 (quatre composantes avec superposition de deux images).

Notons, que ces règles peuvent, en certains cas, être transgressées: la fig. 66 (carte à trois composantes) superpose deux images. Le résultat forme une image perceptible instantanément. Ceci est possible grâce à une séparation rétinienne exceptionnellement optimale: deux variables rétiniennes et deux implantation différentes.

[21] cf. chapitre suivant pou plus de détails

Les limites de l'image

Soit l'information suivante:

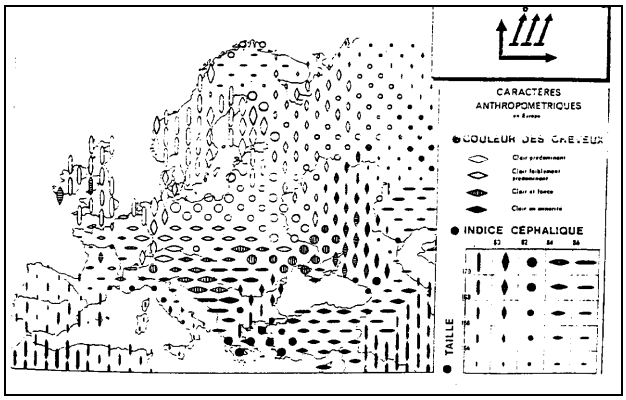
Invariant: caractères anthropométriques en Europe	
Nom de la composante	*Niveau statistique*
localisation géographique	quantitatif ou ordonné
taille des individus (5)	ordonné
indice céphalique (5)	ordonné
couleur des cheveux (4)	ordonné

Quatre composantes dont une géographique sont à représenter. Il faut par conséquent mobiliser cinq variables visuelles dont trois rétiniennes.
Deux solutions s'offrent au cartographe:

- Une construction en trois cartes (collection, fig. 102). Chaque carte exprime une des composantes par une variable rétinienne ordonnée. Il en résulte **trois image**s.
- Une construction d'une seule carte (superposition, fig. 103) qui mobilise la taille (taille des individus), la valeur (couleur des cheveux) et la forme (indice céphalique). La carte est **une figuration**.

Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973

Fig. 102 : Caractères anthropométriques en Europe – collection de trois cartes, chaque carte créant une image



Source : J. Bertin, Sémiologie graphique, Mouton / Gauthier-Villars, 1973

Fig. 103 : Caractères anthropométriques en Europe – superposition des trois caractères dans une carte qui est une figuration

Les cartes de la fig. 102 répondent à toute question introduite par une des composantes thématiques:

- *Les cheveux foncés où sont-ils ?*
- *Les tailles moyennes où sont-elles?*
- *Quelle est la distribution des indices céphaliques ?*

Elle ne répond pas à une question introduite par la composante géographique:

- *Dans telle région quels sont les trois caractères?*

Il faut pour cela additionner les trois images.

La fig. 103 répond au contraire à toute question introduite par la composante géographique:

- *Quels sont les trois caractères dans le sud de la Scandinavie?* [cheveux clairs, indice céphalique < 80 et taille > 170 cm]

Cette réponse est obtenue grâce à une simplification qui entraîne une perte d'information. La continuité de l'espace géographique n'est plus préservée et l'indice céphalique (ordonné) est rendu par une variable rétinienne ayant un niveau de perception inférieur (forme).
Elle ne répond pas aux questions introduites par une composante thématique.

> *Si on veut répondre à tous les types de questions et ceci pour les différents niveaux de lecture, il faut construire les deux figures. Si on se décide pour l'une ou pour l'autre on ne répond pas, consciemment ou non, à un type de questions. Mieux vaut faire ce choix consciemment pour guider le lecteur vers les réponses que l'on privilégie.*

D. Exercice : Multitude des solutions et limites de l'image

1. Concevoir plusieurs expressions graphiques et cartographiques pour l'information suivante:

Invariant: Population active en France, 1990	
Nom de la composante	*Niveau statistique*
régions (22)	quantitatif ou ordonné
nombre d'actifs (masse, convertible en %)	quantitatif
secteurs d'activité (3)	ordonné

- Vos propositions doivent couvrir les différentes fonctions du graphique
- Tester vos propositions en termes d'efficacité (perception, type et niveau de questions): image ou figuration?
- L'information exprimée est-elle exhaustive ou non?

Si possible, réaliser ces graphiques[22]:

- Manuellement (fond: fig. 88)
- Numériquement par l'emploi d'un tableur-grapheuer (type Excel) pour les diagrammes et un logiciel de cartographie assistée par ordinateur pour les solutions cartographiques

2. Comparer vos propositions avec celles réalisées par BERTIN (1973, Sémiologie graphique, pp. 100-137). Les propositions de Bertin sont basées sur des chiffres départementaux de 1954.

[22] Au sein du département de Géographie –Aménagement il existe plusieurs solutions pour se procurer les données: lesquelles?

13. La représentation d'une information complexe (I): Superposer, juxtaposer, synthétiser

A. Aperçu des méthodes

Jusqu'à maintenant les exemples choisis étaient relativement peu complexes. Au-delà de la limite de l'image les solutions sont peu nombreuses:

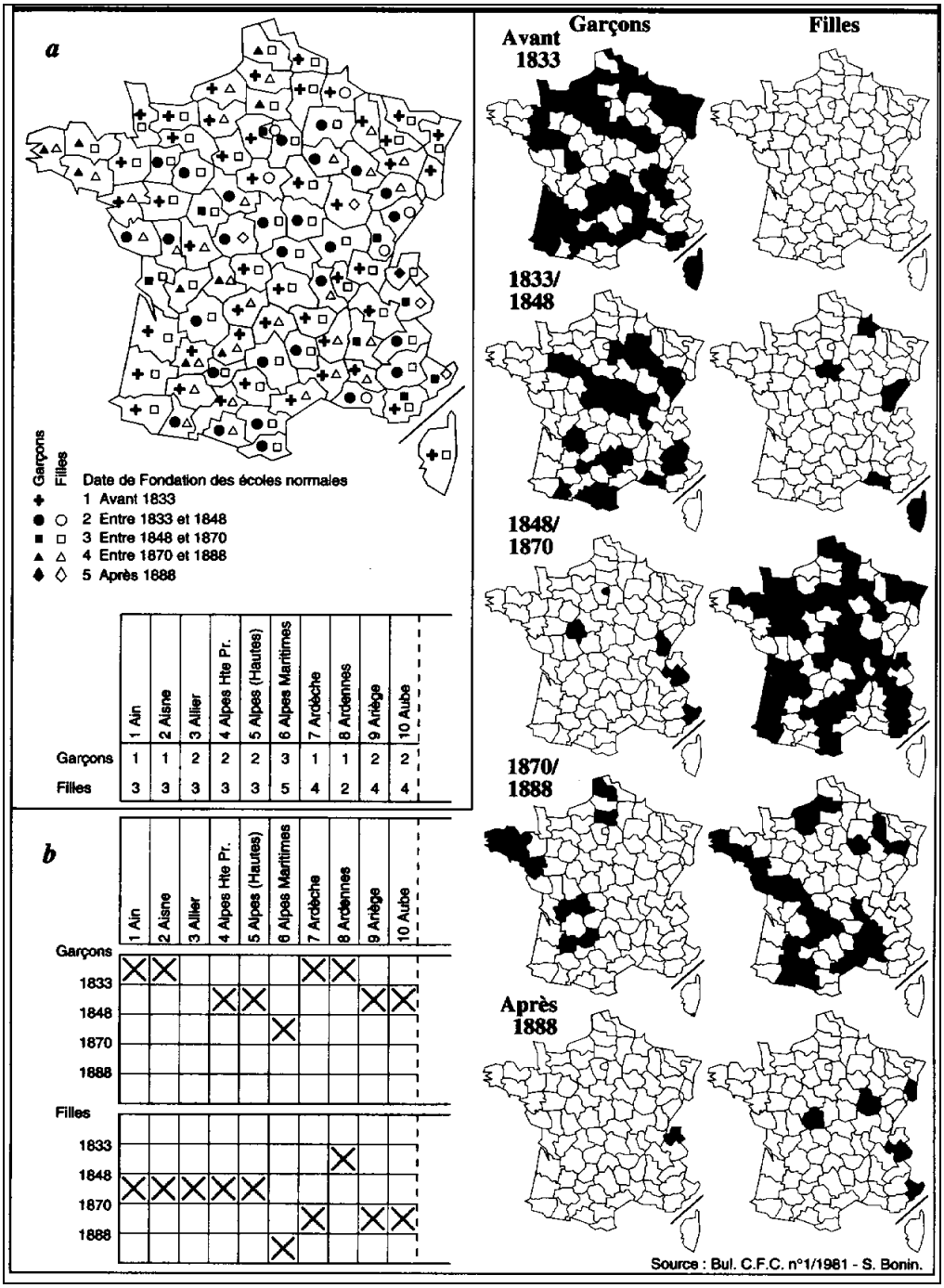
- Juxtaposer des cartes: le principe de la collection de cartes analytiques à une composante thématique. Les cartes forment des images simples qui, juxtaposées, peuvent être comparées, mémorisées, classées (cf. fig. 102). Chaque image répond à une question introduite par la composante thématique traitée et ceci à tous les niveaux de lecture.
- Synthétiser l'information en une seule carte: un traitement de données précède l'expression graphique dans le but de sa simplification (cf. fig. 103). Le résultat est souvent une figuration qui, néanmoins, a le mérite de répondre à une question élémentaire introduite par la géographie: quels sont les caractères à tel endroit?
- Superposer des cartes: des cartes analytiques à une composante sont superposées. La qualité de perception du résultat dépend du nombre de composantes et de leur niveau statistique. Ainsi est-il possible de créer une image cartographique - il s'agit en fait de la superposition de deux images simples - pour une information à trois composantes à condition que celles-ci se prêtent à une séparation rétinienne optimale (cf. fig. 66). Si le nombre de composantes est supérieur, le résultat est une figuration. Comme pour la carte de synthèse, la superposition répond à une question introduite par la géographie. La réponse à une question introduite par une composante thématique n'est assurée que si celle-ci est exprimée par une variable rétinienne dominante comme c'est le cas pour l'emploi de la couleur dans la carte topographique où chaque couleur forme une image à part que l'on peut extraire mentalement de l'ensemble. De nombreux ouvrages cartographiques font recours à la superposition: carte topographique, POS, SDAU, …
- Le traitement matriciel des données (cf. chapitre 15).
- L'analyse multivariée des données: analyse en composantes principales, analyse factorielle des correspondances, classifications multivariées.
- Le recours à la synthèse additive ou soustractive de couleurs: la méthode requiert une information à trois composantes thématiques quantitatives ou ordonnées. Chaque composante est visualisée par une couleur de base: rouge – vert – bleu dans le cas de la synthèse additive des couleurs (employée à l'écran, notamment pour la visualisation d'images satellitales multispectrales: la composition colorée) ou magenta – jaune – cyan en synthèse soustractive (procédé trichromatique utilisé en imprimerie[23])
- Certaines cartes thématiques ont un procédé d'expression graphique qui leur est propre. Tel est le cas des cartes d'utilisation du sol (cf. chapitre 14) ou l'expression des dynamiques (cf. chapitre 16).

[23] Ces trois couleurs réunies devraient former du noir. En réalité on ajoute souvent une cartouche d'encre noire car ni le papier ni les encres n'offrent une qualité parfaite à un prix raisonnable.

B. Exercice : Collection ou superposition ?

1. Collection de cartes et carte de synthèse: Date de fondation des écoles normales en France (fig. 104).

   - Comparer l'efficacité des deux représentations: à quel type et quel niveau de question répondent-elles?
   - Proposer une amélioration pour la carte de synthèse

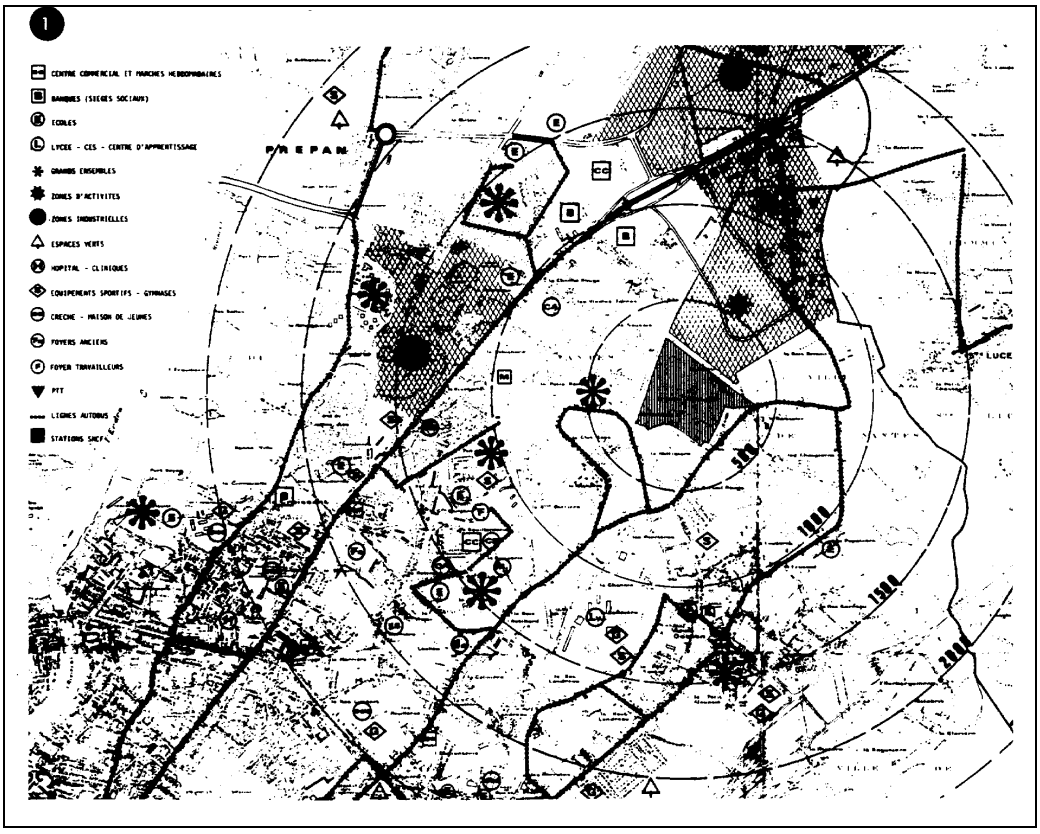


Source: E. Blin & J.-P. Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 104 : Création des écoles normales des filles et des garçons de 1833 à 1914

2. Superposition de cartes: le plan d'aménagement urbain (fig. 105).

   - Réaliser une analyse sémiologique
   - Pourquoi la carte est-elle si peu lisible
   - Proposer des améliorations



Source: S. Bonin & M. Bonin, La graphique dans la presse, CFPJ, 1989
Fig. 105 : Plan d'aménagement urbain

14. La représentation d'une information complexe (II): Les cartes par bandes

Les cartes par bandes servent à exprimer une information à trois composantes où une des deux composantes est qualitative et l'autre quantitative. Tel est le cas de l'utilisation du sol que les cartes par bandes expriment le plus souvent[24]. Pour cela on convertit les quantités absolues en pour cent par unité de surface (commune, canton, …). Les entités géographiques sont alors couvertes de bandes répétitives n'assurant plus la localisation des différentes utilisations du sol. Au sens strict il s'agit de cartogrammes à implantation surfacique (cf. chapitre 2). WILHELMY (1981) les définit comme cartogrammes à bandes.

A. Méthodes

Cartes par bandes proportionnels

Il s'agit de la méthode la plus simple. Généralement on choisit une largeur de bande inférieure à la largeur de l'unité spatiale la plus petite. Cette bande représente 100% d'utilisation du sol. Les utilisations très minoritaires sont regroupées (cf. fig. 106).

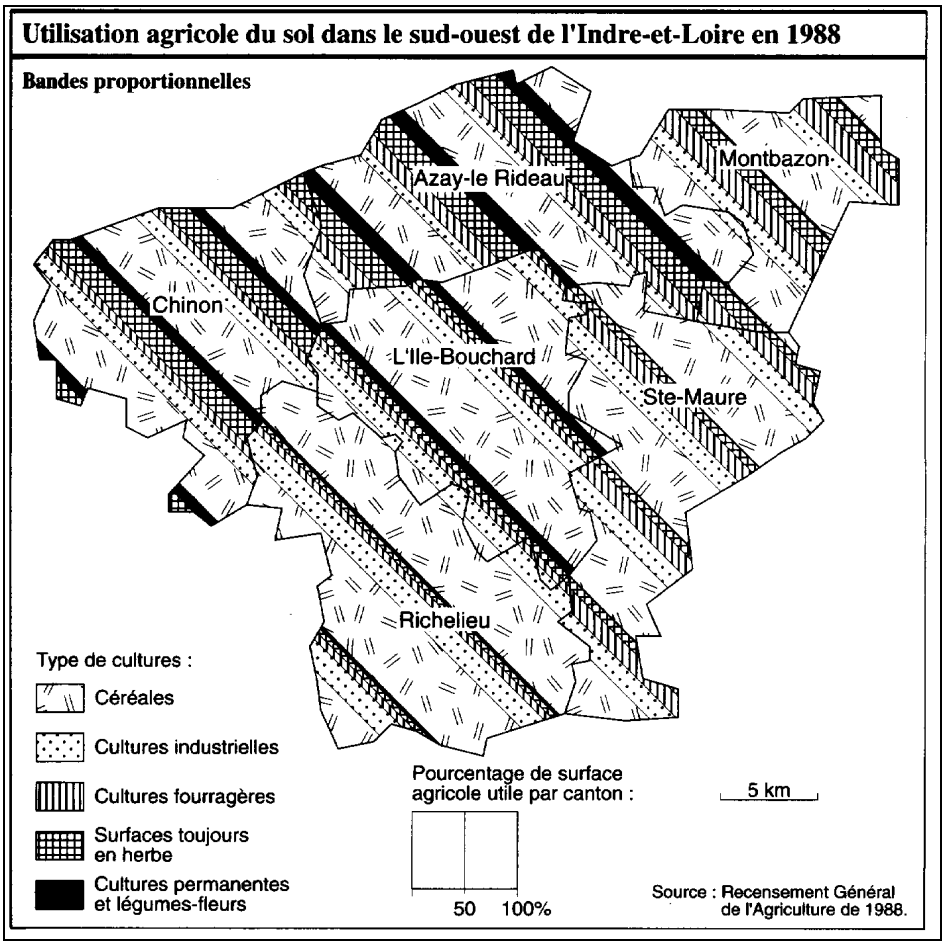
Exemple: Utilisation agricole du sol dans le sud-ouest de l'Indre-et-Loire en 1988

Exemple de calcul pour le canton de l'Ile-Bouchard						
	Céréales	Cultures industrielles	Cultures fourragères	Surfaces tou-jours en herbe	Cultures permanentes	Légumes-fleurs
L'Ile-Bouchard	61,7%	16,6%	6,5%	6,8%	8,3%	0,1%
Largeur de la bande Total 15mm	9,255	2,49	0,975	1,02	1,245	0,015
Valeurs retenues	9,2	2,5	1	1	1,3 Catégories regroupées	

Source: E. Blin & J.-P.Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 106: Illustration de la mise en œuvre de la méthode des cartes par bandes proportionnelles.

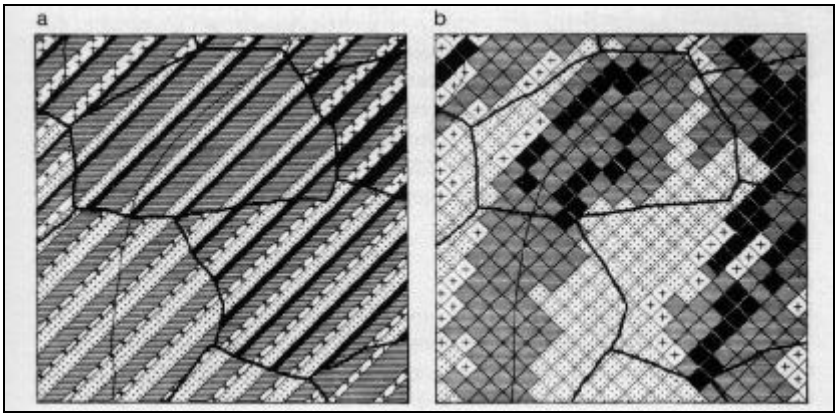
[24] L'emploi dédié que l'on fait des cartes par bandes a amené plusieurs auteurs à les appeler directement cartes d'utilisation du sol bien que la méthode puisse servir à exprimer toute sorte d'information. Ainsi BRUNET (1987) présente dans son ouvrage "La carte – mode d'emploi" une cartes par bandes appliquée aux dominantes socioprofessionnelles des arrondissements parisiens (p. 85).



Source: E. Blin & J.-P.Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 107: Utilisation agricole du sol dans le sud-ouest de l'Indre-et-Loire en 1988

Afin de remédier à la perte de localisation, ARNBERGER (1993) propose une discrétisation de l'espace en pixels où la somme des pixels (dont la résolution est adaptée au phénomène représenté) indique la quantité (absolue!) d'utilisation du sol (cf. fig. 108).



Source: E. Arnberger, Thematische Kartographie, Westermann, 1993

Fig. 108: Méthode des cartes par bandes proportionnelles (a) et par carroyage (b)

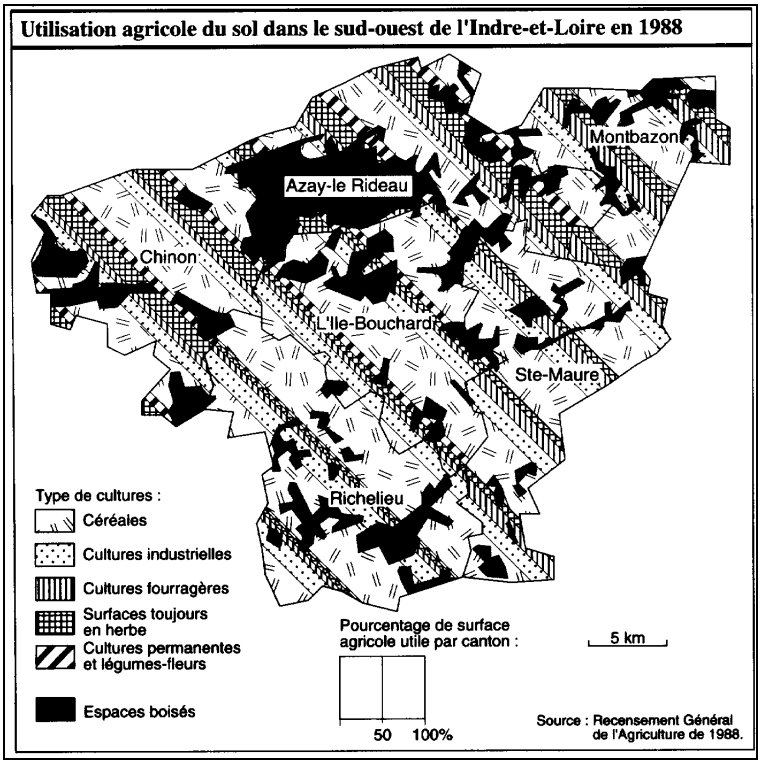
Cartes par bandes simplifiées

Si la longueur de la composante qualitative (catégories d'utilisation du sol) est trop importante, il est impossible de représenter toutes les catégories. En l'occurrence, le traitement de données aboutit à une représentation des dominantes. Il existe plusieurs méthodes pour faire ressortir les catégories dominantes:

- Méthode Weaver: élimination des cultures peu importantes par la méthode des moindres carrés (cf. BLIN&BORD, 1993, p. 179).
- Méthode d'écart à la moyenne: on ne représente une catégorie d'utilisation du sol que dans les entités spatiales où celle-ci a un poids supérieur à la moyenne. La largeur de la bande est alors proportionnel à l'écart à la moyenne (cf. ANDRE, 1980, p. 182).
- Méthode Perpillou: utilisée pour l'élaboration de la carte d'utilisation du sol en France (méthode dédiée) créant sept types prédominants d'utilisation du sol (cf. BLIN&BORD, 1993, p. 181).

Cartes par bandes proportionnels ou simplifiées avec localisation des caractères permanents

Il s'agit en fait d'un compromis entre carte et cartogramme. Les caractères immuables (bâti, surfaces boisées, cultures permanentes, etc.) sont correctement localisées, les catégories à assolement représentées selon leurs proportions exactes ou leurs caractères dominants (cf. fig. 109).



Source: E. Blin & J.-P.Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993

Fig. 109: Utilisation agricole du sol dans le sud-ouest de l'Indre-et-Loire en 1988

B. Exercice : Les cartes par bandes

1. Quels sont les inconvénients majeurs des cartes par bandes?

15. La représentation d'une information complexe (III): La matrice ordonnable

La technique s'applique à des informations contenant généralement deux composantes qualitatives. Représentée sous forme de matrice (tableau à deux entrées), l'information peut être traitée par tri combiné des catégories des composantes qualitatives et / ou par rapport à une troisième composante ordonnée ou quantitative. Ordonner une composante qualitative dans le but de simplifier le graphique est le principe de la diagonalisation (cf. chapitre 11). Le traitement matriciel simple, le tri des colonnes et des lignes, suit la même logique mais, contrairement à la simple diagonalisation, le tri peut être précédé d'une simplification de la composante quantitative (discrétisation en quelques classes). La deuxième différence est que la matrice ordonnable s'applique à l'expression cartographique.
Si le traitement manuel reste limité à trois composantes, dont au maximum deux qualitatives (tableau à double entrée, cf. fig. 110 ci-dessous), le traitement informatique peut être véritablement multivarié.

Quartiers de Tours	Population totale	A - % < 20ans	B - % > 64 ans	C - % étrangers	D - % ouvriers et employés	E - % patrons et cadres sup.	F - % population en HLM	G - % propriétaires	H - Nombre de personnes / pièce
01 Prébendes	10342	20,8	21,2	3,4	43,7	31,8	0,5	39,9	0,80
02 St-Etienne-Sanitas	7885	26,8	14,1	11,8	73,1	10,7	49,9	15,9	0,79
03 Liberté	5796	19,0	21,7	2,3	80,1	15,8	5,8	51,0	0,88
04 Rabelais-Gloriette	7843	23,1	14,9	7,3	89,5	11,9	41,2	23,4	0,75
05 Lamartine-Bretonneau	9320	22,3	20,8	8,0	87,5	15,8	37,4	25,0	0,73
06 Halles-Cathédrale	12421	19,8	17,8	7,1	48,7	29,7	8,0	25,0	0,87
07 Champ Giraud-La Fuye	8519	19,1	23,5	3,3	59,1	18,7	19,4	25,0	0,67
08 Beaujardin-Rotonde	12115	29,2	15,2	9,4	75,3	7,8	54,9	39,2	0,78
09 Rives du Cher	8493	31,7	9,0	4,9	57,3	16,3	47,0	24,5	0,73
10 Les Fontaines	8142	28,8	8,0	8,2	89,5	8,7	80,1	12,8	0,84
11 Bergeonnerie-Montjoyeux	5859	30,0	6,5	5,8	84,7	11,2	14,9	52,9	0,78
12 Europe-Douet	10422	37,1	5,7	2,4	74,8	7,1	14,2	49,5	0,88
13 Europe-Chevalerie	10964	31,3	10,0	4,9	74,9	9,3	39,3	31,8	0,81
14 St Symphorien- Ste Radegonde	14288	24,9	18,9	2,9	80,3	18,5	19,2	35,8	0,71
Tours	**132409**	**26,1**	**14,9**	**5,8**	**63,8**	**15,6**	**21,6**	**32,0**	**0,74**

Source: E. Blin & J.-P.Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993 (modifié)
Fig. 110 : Structure socio-démographique de Tours en 1982

A. Méthodes

Cas d'une information à deux composantes qualitatives (diagonalisation)

Soit une information à deux composantes qualitatives comme par exemple différents pays et la présence / absence de différentes caractéristiques économiques de ces pays. Représentée sous forme de tableau (cf. fig. 91), on commence le tri de l'information (permutation de lignes / de colonnes) par la composante ayant le nombre de catégories le plus élevé.

Si le nombre de combinaisons dépasse quelques centaines (tableau à environ 20 lignes sur 20 colonnes), le traitement manuel peut être facilité par l'emploi d'un matériel spécialisé appelé "jeu de dominos" (BERTIN, 1973, p. 169 ou BLIN&BORD, 1993, p. 189). Il consiste en un nombre important de dés, pouvant être assemblés en brochettes (lignes), dont les marques visuels symbolisent l'appartenance à une classe (composante quantitative discrétisée: ordonnée). Le matériel permet la permutation sans découpage physique de la matrice papier.

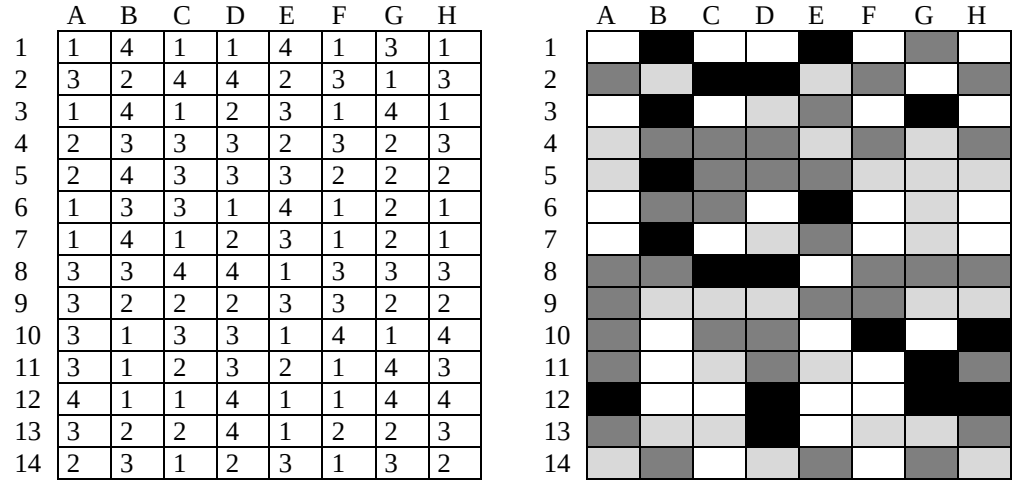
Cas d'une information à trois composantes dont deux qualitatives

Exemple et procédure: structure socio-démographique de Tours (source BLIN&BORD, 1993).

La procédure en étapes:

1. L'information est représentée dans un tableau à double entrée (fig. 110).
2. Si la troisième composante est quantitative (ou si elle est ordonnée mais à un nombre de classes trop élevé) on la discrétise en quelques classes (cf. chapitre 10 et ANDRE, 1980, p. 202ff)).
3. Après cette réduction de l'information, il est possible d'exprimer la matrice visuellement: dégradé de tons de gris, variation de la taille, couleurs (fig. 111).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	4	1	1	4	1	3	1
2	3	2	4	4	2	3	1	3
3	1	4	1	2	3	1	4	1
4	2	3	3	3	2	3	2	3
5	2	4	3	3	3	2	2	2
6	1	3	3	1	4	1	2	1
7	1	4	1	2	3	1	2	1
8	3	3	4	4	1	3	3	3
9	3	2	2	2	3	3	2	2
10	3	1	3	3	1	4	1	4
11	3	1	2	3	2	1	4	3
12	4	1	1	4	1	1	4	4
13	3	2	2	4	1	2	2	3
14	2	3	1	2	3	1	3	2

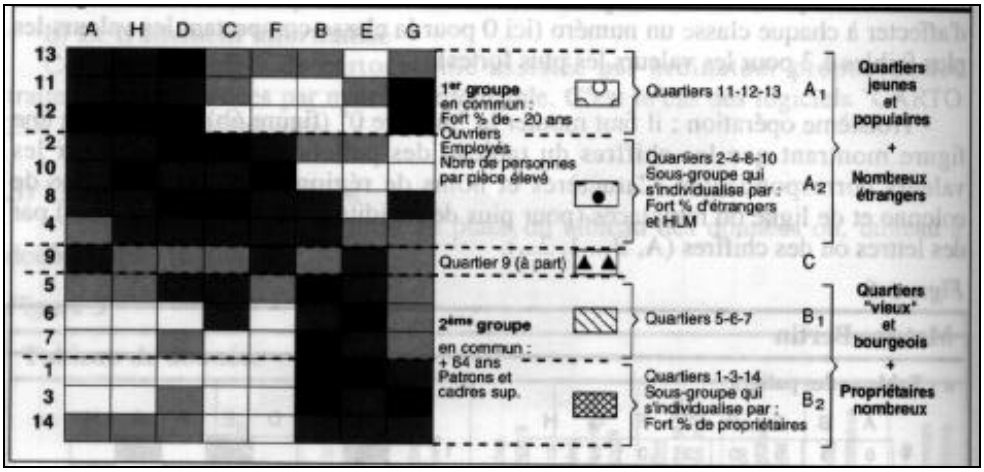


Source: E. Blin & J.-P.Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993 (modifié)

Fig. 111 : Discrétisation en quatre classes et traduction en matrice visuelle[25]

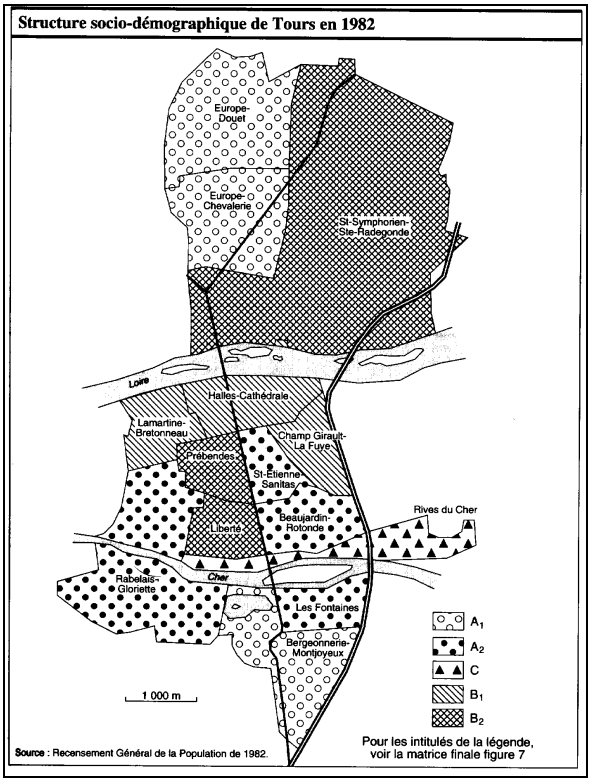
[25] La méthode discrétisation n'est pas mentionnée. Il s'agit, probablement, d'une discrétisation manuelle selon les discontinuités observées sur l'histogramme de fréquence.

4. Suit l'étape de la permutation des lignes et des colonnes. On commence par la composante dont le nombre de catégories est le plus élevé. Ces permutations successives aboutissent à la matrice ordonnée (fig. 112).


A H D C F B E G
13 11 12 2 10 8 4 9 5 6 7 1 3 14
1er groupe en commun : Fort % de - 20 ans Ouvriers Employés Nbre de personnes par pièce élevé
Quartiers 11-12-13 A1
Quartiers 2-4-8-10 Sous-groupe qui s'individualise par : Fort % d'étrangers et HLM A2
Quartier 9 (à part) C
2ème groupe en commun : + 64 ans Patrons et cadres sup.
Quartiers 5-6-7 B1
Quartiers 1-3-14 Sous-groupe qui s'individualise par : Fort % de propriétaires B2
Quartiers jeunes et populaires + Nombreux étrangers
Quartiers "vieux" et bourgeois + Propriétaires nombreux

Source: E. Blin & J.-P.Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993
Fig. 112 : Matrice finale

5. Selon les formes visuelles de l'image de la matrice ordonnée on crée des classes par classification ascendante hiérarchique: création des groupes primaires et leurs subdivisions respectives. Cette structuration va de pair avec la mise en place de la légende (fig. 112).
6. La légende de la matrice ordonnée et classée est celle de la carte (fig. 113).



Source: E. Blin & J.-P.Bord, Initiation géo-graphique, SEDES, 1993 (modifié)
Fig. 113 : Structure socio-démographique de Tours en 1982

B. Exercice : Traitement matriciel

1. Exprimer la structure socio-démographique toulousaine en 1990 (fig. 114: tableau des indicateurs socio-démographiques et fig. 115: fond de carte par quartiers) en une carte en mettant en œuvre la technique de la matrice ordonnable.

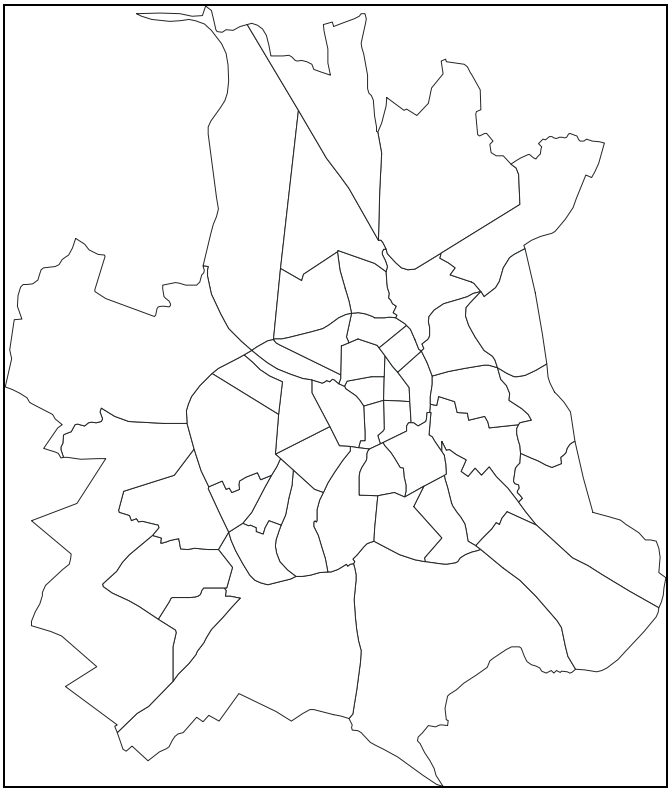


Fig. 115 : Toulouse - découpage par quartiers (1990)

N°	Quartier	% Ménages 1 personne	% personnes vivant seules	% < 20 ans	% > 60 ans	% étudiants ≥20ans	% étrangers	% cadres	% prof. intermédiaires	% ouvriers et employés	taux d'activité	Taux de chômage
1	Capitole	59.7	36.1	15.8	14.7	20.6	6.1	31.2	26	32.7	50.3	13.3
2	Arnaud-Bernard	61.3	34.2	14.2	15.5	29.6	7.5	27.8	25.0	35.4	42.2	12.0
3	St. Georges	56.9	33.5	14.3	25.2	14.7	6.5	33.8	20.0	30.9	49.0	10.0
4	St. Etienne	52.8	25.8	19.3	17.9	16.2	5.1	37.0	23.1	26.4	50.1	8.2
5	Les Carmes	55.5	31.2	15.4	19.8	17.5	5.4	35.1	22.5	30.0	49.7	11.9
6	St. Cyprien	55.6	29.7	13.8	22.4	13.8	8.5	18.9	24.6	48.5	50.4	14.5
7	Les Amidonniers	44.1	16.8	16.4	12.3	30.9	7.2	26.1	28.0	39.0	43.0	11.0
8	Compans-Cafarelli	52.8	30.4	15.5	19.1	17.8	3.3	22.3	28.4	41.7	51.2	13.6
9	Chalets	54.5	31.6	13.8	23.6	15.3	3.8	30.0	25.5	32.2	48.7	10.5
10	Bayard	59.5	35.7	15.4	20.1	16.9	7.7	25.9	23.1	38.8	51.0	15.0
11	St. Aubin	58.7	35.9	14.9	19.4	14.9	7.1	29.0	25.9	35.6	54.8	13.8
12	Le Busca	46.9	23.5	18.7	20.3	12.4	4.2	33.5	24.0	34.7	52.1	11.5
13	St. Michel	55.8	30.3	12.2	16.2	20.0	8.5	21.9	28.7	40.0	47.4	12.4
14	Empalot	35.0	12.4	23.7	16.7	19.8	17.7	6.2	16.7	71.5	40.1	22.3
15	Fer-à-Cheval	43.1	22.5	15.6	23.8	8.8	3.9	18.7	29.1	46.0	56.3	13.1
16	Patte d'Oie	43.1	21.4	15.5	22.4	8.2	8.5	12.8	25.4	54.7	57.4	13.8
17	Casselardit	38.2	18.3	18.1	20.6	5.6	4.7	13.7	25.5	52.3	60.1	15.5
18	Ponts Jumeaux	33.6	13.5	22.3	25.3	3.3	6.1	12.5	27.1	49.6	53.9	13.5
19	Minimes	36.4	17.2	18.8	22.6	4.2	5.5	16.5	22.0	54.9	57.8	11.2
20	Le Raisin	40.6	20.2	17.5	27.4	4.8	5.7	14.5	22.3	54.8	54.6	10.8
21	Faubourg-Bonnefoy	46.5	25.1	14.8	27.3	6.3	5.0	11.0	25.6	54.9	53.7	13.5
22	Jolimont	46.1	24.0	17.2	19.3	10.3	7.7	16.0	21.9	54.3	54.6	15.1
23	Guiheméry	41.7	21.0	15.9	26.3	6.8	4.6	23.0	27.2	40.1	53.1	12.0
24	Côte-Pavée	40.6	19.0	19.4	27.4	7.0	3.6	29.9	26.5	36.6	49.7	10.6
25	Ponts-de-Demoiselles	35.6	16.3	19.4	20.1	6.9	3.4	20.9	23.9	46.1	56.7	10.6
26	Sauzelong	37.9	18.2	18.9	21.7	10.9	8.1	19.4	22.4	51.6	51.4	13.2
27	St. Agne	49.0	26.6	14.9	19.0	17.7	5.5	20.3	27.5	44.4	50.0	12.5
28	Croix-de-Pierre	36.3	16.5	20.1	20.9	4.8	2.9	22.8	26.8	42.2	58.4	12.1
29	Fontaine-Lestang	28.9	12.1	22.9	21.0	8.6	14.5	9.4	21.4	62.5	49.2	15.7
30	Papus	25.7	10.0	24.0	20.9	4.0	11.5	7.4	21.5	64.8	54.0	18.1
31	Bagatelle	29.1	10.4	33.4	18.2	3.2	23.7	4.5	10.4	75.9	48.9	30.2
32	La Cépière	36.5	16.9	20.0	19.1	5.5	8.0	11.7	22.3	59.2	59.3	15.7
33	Barrière-de-Paris	31.0	13.6	18.8	25.6	3.2	7.4	11.4	24.3	55.4	54.9	11.0
34	Lalande	28.5	10.9	26.8	24.6	2.7	7.8	8.3	16.5	64.7	48.6	18.3
35	Croix-Daurade	26.7	11.1	22.5	22.8	3.1	4.0	9.5	26.1	54.3	56.3	11.9
36	Roseraie	28.1	12.1	20.3	23.5	3.6	4.6	15.2	23.6	53.0	57.4	12.5
37	Soupetard	27.2	11.6	20.6	22.3	3.9	2.8	11.3	23.2	57.6	57.8	11.4
38	Château-de-l'Hers	27.4	11.7	21.0	24.1	3.1	3.5	16.1	26.4	47.8	56.7	10.9
39	La Terrasse	30.0	12.4	25.2	12.7	5.4	2.4	24.8	27.4	40.2	65.5	9.4
40	Montaudran	30.3	12.8	23.1	14.2	7.5	2.2	17.5	28.8	43.8	62.1	9.2
41	Rangueil	49.9	19.3	16.9	11.4	38.3	9.7	29.6	29.4	35.8	34.4	7.5
42	Lafourguette	26.0	8.9	25.6	17.7	4.7	14.9	10.6	21.8	58.8	51.4	11.6
43	Bellefontaine	24.5	8.3	34.7	10.0	4.5	20.0	6.0	17.5	67.7	60.3	19.0
44	Reynerie	28.9	9.9	35.1	7.2	7.4	27.5	6.5	18.2	68.7	59.4	23.0
45	Mirail	31.0	11.9	30.6	7.3	7.2	7.9	10.7	24.1	58.1	64.1	11.8
46	Lardenne-St.-Simon	24.9	9.8	22.5	21.1	4.5	2.9	19.3	26.4	45.4	57.8	9.5
47	Purpan	33.6	14.1	20.2	18.5	6.3	3.7	12.8	27.1	52.6	59.5	9.0

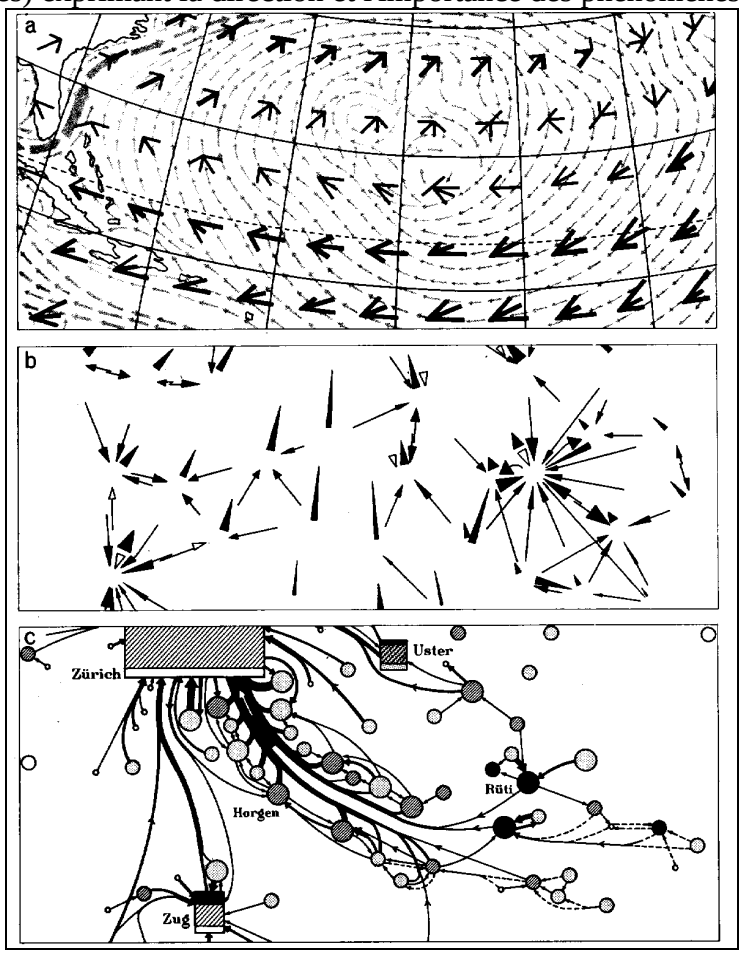
Fig. 114 : Indicateurs d'âge et d'activité par quartiers (Toulouse, 1990). Source : INSEE

16. La représentation d'une information complexe (IV): l'exemple des dynamiques

Les types de dynamiques sont différents: mouvements dans l'espace et évolution dans le temps. La carte, document par définition statique, éprouve déjà - au moins à petite échelle - des difficultés à intégrer la troisième dimension dans un espace bidimensionnel. Comment alors *digérer* une quatrième, celle du temps?

A. Dynamique spatiale – cartes de flux

La représentation la plus classique des mouvements spatiaux fait appel au tracé de vecteurs (flèches, bandes) exprimant la direction et l'importance des phénomènes (fig. 116).



Source: E. Arnberger, Thematische Kartographie, Westermann, 1993

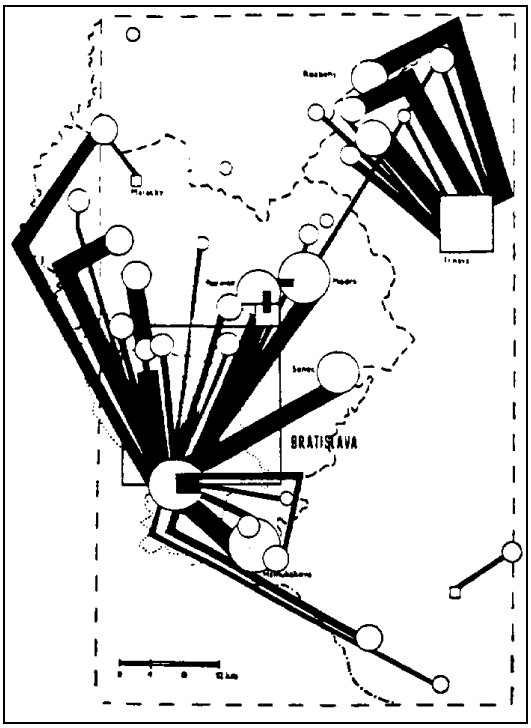
Fig. 116 : Exemples de la représentation qualitative et quantitative de flux

a) Vents et courants marins dans l'Atlantique Nord. La longueur des flèches remplies est proportionnelle à la fréquence des vents en août ; flèches des courants marins rasterisés (selon H. et P. Chaunu : *Séville et l'Atlantique*, Paris, 1956).
b) Migrations entre départements français en 1954 (la surface des flèches-triangles est proportionnelle au nombre de migrants, la longueur des triangles est proportionnelle au pourcentage des émigrants (coupure de carte selon S. Bonin).
c) Flèches et lignes de flux pour la représentation quantitative de flux en six classes (coupure de la carte 33 « migrants journaliers » de E. Imhof, tirée de l'Atlas de la Suisse, 1967).

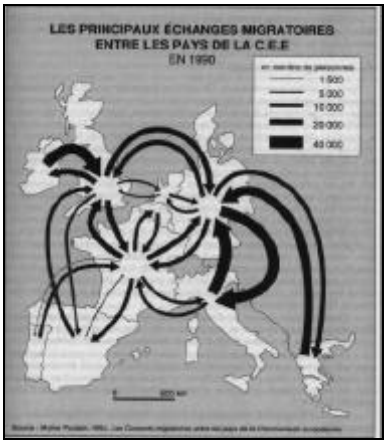
L'importance du flux (composante thématique) peut être exprimée par :

- La taille en implantation linéaire (largeur du vecteur)
- La longueur du vecteur (perception également quantitative)
- Une variable rétinienne ordonnée (valeur, valeur / couleur, grain)

L'utilisation de flèches convient notamment aux flux dont la direction et l'origine ne sont pas exactement définies (cartes des vents). La plupart des cartes de flux se basent sur des constructions assez ressemblantes (fig. 117 et118).



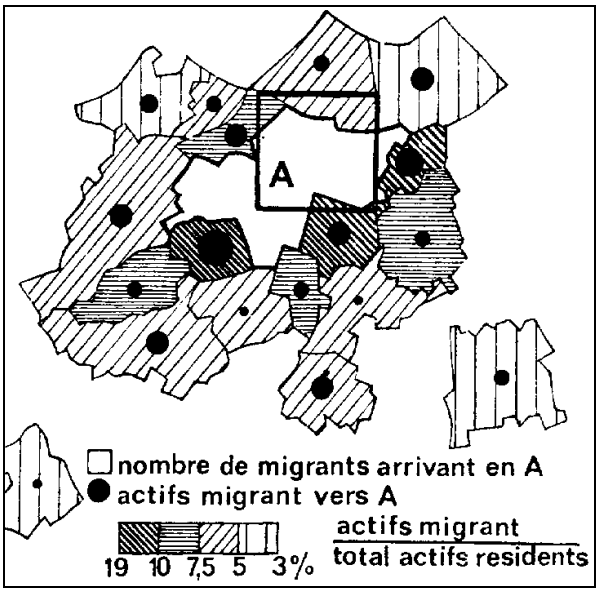
Source: R. Brunet, La carte, mode d'emploi, Fayard / Reclus, 1987
Fig. 117 : Loisirs en Slovaquie



Source: M. Béguin & D. Pumain, La représentation des données géographiques, Armand Colin, 1994
Fig. 118 : Cartographie des flux

Une représentation plus statique consiste à exprimer l'importance des départs à l'origine et à la destination; procédé employé couramment pour les cartes de migration (fig. 119). Dans ce cas il est important de faire passer trois informations :

- La part des migrants dans la population totale sur le lieu de départ
- Le nombre de migrants vers une destination (ancrage des taux dans la masse)
- Le nombre de total des migrants à destination



Source: F. Joly, La cartographie, PUF, 1976
Fig. 119 : Représentation des migrations

B. Dynamique temporelle – cartes d'évolution

Variabilité ou évolution ? Il convient de distinguer ces deux cas pour l'expression graphique.

Dans le premier cas de figure, le phénomène observé varie de façon plus ou moins aléatoire autour d'un état moyen. Par conséquent, il ne s'agit pas d'une évolution mais d'une oscillation autour d'un indice ou autour un état normal ou moyen. On réduit la variation temporelle à quelques descripteurs de la répartition chronologique (moyenne, écart-type). Tel est le cas des cartes climatiques[26]. Le résultat est statique et la carte représente un état moyen qui ne s'est peut-être jamais produit réellement pendant la période considérée. Ces cartes sont donc quelque peu abstraites mais ont l'avantage d'éliminer les situations aléatoires et singulières. Une indication de la variabilité (valeurs extrêmes, écart-type) est indispensable afin de situer la valeur moyenne dans le contexte de la série d'observations.

Si la variabilité temporelle dispose d'un sens, d'un gradient, le procédé évoqué ci-dessus ne convient plus. Il s'agit alors de représenter une évolution par une série de cartes statiques ou des cartes intégrant la dynamique.

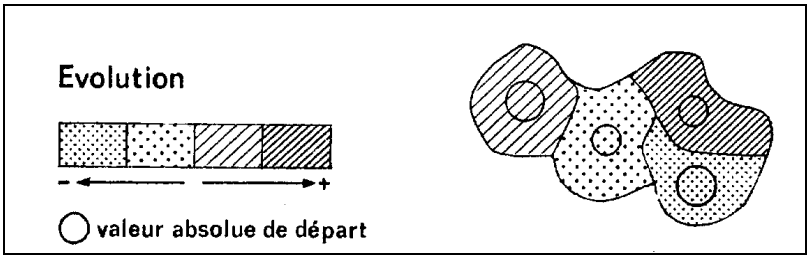
[26] au moins jusque dans les années 1980 avant la perception du « global change »

Construction d'une série de cartes

Il s'agit de la représentation du même phénomène (une ou plusieurs composantes thématiques) à différents moments et ceci dans l'ordre chronologique. Il va sans dire que le choix de ces moments fugaces est capital. Une telle série diachronique peut être juxtaposée, superposée, croisée numériquement ou encore enregistrée sur un support film (vidéo) comme un dessin animé. Des techniques d'interpolation entre les images par procédé morphomathématique ont été incorporées dans nombre de logiciels d'imagerie.

Construction d'une carte d'évolution

Une série de cartes revient à réduire la composante temps en invariant pour chaque carte de la série. Une carte d'évolution se caractérise par l'intégration de la composante temporelle et sa traduction en variables graphiques.
La manière la plus classique est de calculer l'évolution des masses (évolution absolue) ou de taux (évolution relative) pour l'intervalle considéré ($t_0 \rightarrow t_1$) en prenant la date de départ (t_0) comme base de calcul. Le résultat peut être représenté de manière quantitative ou réduit en classes (ordonné) ce qui permet d'étaler des couleurs sous forme d'un double dégradé (couleurs chaudes pour une hausse, froides pour une baisse). On peut également réaliser une double progression de la valeur avec deux textures différentes (hachures et pointillés par exemple). Afin d'ancrer cette évolution dans le contexte, il convient d'y ajouter la quantité absolue de départ. Ce principe est illustré dans la fig. 120.



Source: F. Joly, La cartographie, PUF, 1976
Fig. 120 : Représentation d'une évolution – taux et masse de départ

Problèmes de calcul de l'évolution et de sa représentation

On distingue entre :

- **Evolution absolue** ($t_0 - t_1$)
- **Evolution relative** ($t_0 - t_1$) / $t_0 * 100$

L'évolution relative rend comparable les évolutions mais donne trop d'importance aux évolutions des valeurs faibles (20% de hausse sur 100 ou sur 100 000 habitants ?). Le procédé d'y ajouter les valeurs absolues de départ, évoqué ci-dessus, remédie à ce problème.

Les calculs d'évolution s'orientant à une composante / référentiel extérieur à la série des données sont plus sensibles aux modes de calcul.

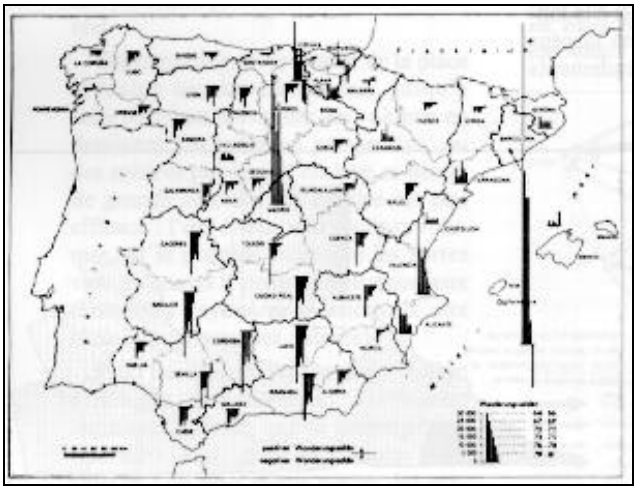
Exemple: Evolution d'une catégorie par rapport à l'évolution de la population totale

On calcule l'évolution du nombre d'employés d'une commune par rapport à sa population totale. Passer de 500 à 750 employés dans une commune signifie une augmentation de 50%. Mais si la population totale s'accroît entre-temps de 2 500 à 5 000 personnes, la proportion d'employés est tombé de 20% à 15%. Deux modes de calcul … et la carte change de couleur.

Exemple: Sondage politique

Un politicien passe de 430 à 460 avis favorables pour un échantillon de 1 000 sondés. Ce sondage le fait gagner **7%** (rapport de taux) ou le fait grimper de **3 points** (différence de taux) dans la popularité. "*Les cartes qui en résultent ne sont pas les mêmes: le rapport des taux minimise les évolutions pour les taux élevés, les différences de taux les maximisent. Il est plus facile de passer de 2 à 4% que de 20 à 40%, et plus facile en principe de gagner <5 points> quand on a 50 que quand on en a 1*." (BRUNET, 1987).

L'expression se complique si l'évolution s'étend sur plus de deux dates. Les possibilités d'évolution augmentent potentiellement tout en réduisant la carte à une figuration. La tentation est alors forte de recourir à des carto-diagrammes malgré leurs défauts inhérents (fig. 121). Un traitement de l'information s'impose.



Source: R. Brunet, La carte, mode d'emploi, Fayard / Reclus, 1987

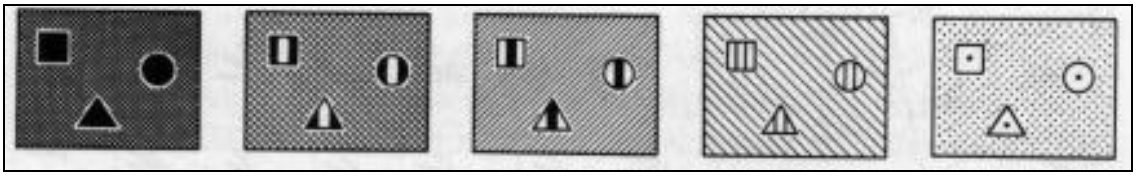
Fig. 121 : Les Espagnols bougent moins. Soldes migratoires provinciaux par périodes triennales, de 1964 à 1981

Ainsi, et pour trois dates, est-il possible de réduire les 9 possibilités d'évolution et de les regrouper sémiologiquement par l'emploi de trois couleurs de base (cf. fig. 122) :

$t_0 \rightarrow t_1$	$t_1 \rightarrow t_2$	regroupements possibles	sens d'évolution
↑	↑		hausse : dégradé de rouge
↑	—		
—	↑		
—	—		stable ou variable : dégradé d'une couleur neutre
↓	↑		
↑	↓		
—	↓		baisse : dégradé de bleu
↓	—		
↓	↓		

Fig. 122 : Possibilités dévolution et regroupements possibles pour une information à trois dates

Un problème particulier est de rendre graphiquement la genèse (géomorphologie, géologie, classes d'âge, ...). En règle générale on procède de la manière suivante: plus un objet est « vieux », plus il est lourd et dense sémiologiquement. On y associe des teintes sombres et saturées (fig. 123).



Source: E. Arnberger, Thematische Kartographie, Westermann, 1993
Fig. 123 : Représentation de la genèse en implantation surfacique et ponctuelle. Plus un objet est « vieux », plus est sémiologiquement lourd et dense

C. Exercice

1. Représenter l'évolution démographique des huit départements de Midi-Pyrénées entre les recensements 1936 – 1975 – 1990 en utilisant les valeurs du tableau (fig. 124) et le fond de carte (fig. 125).

Départements	**1936**	**1975**	**1990**
Ariège	155,1	137,90	136,7
Aveyron	314,7	278,30	270,1
Haute-Garonne	458,6	777,40	926
Gers	192,5	175,40	174,6
Lot	162,6	150,80	155,8
Hautes-Pyrénées	188,6	227,20	224,8
Tarn	297,9	338,00	342,7
Tarn et Garonne	164,6	183,30	200,2

Fig. 124 : Population (en milliers) de Midi-Pyrénées en 1936, 1975 et 1990

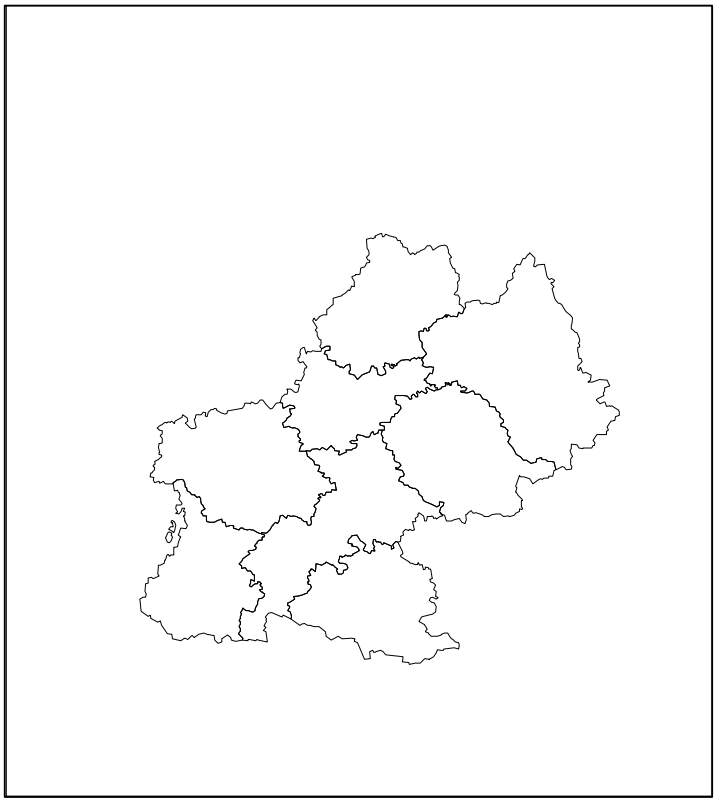


Fig. 125 : Midi-Pyrénées, découpage départemental

2. Si on ajoutait les données du recensement 1999 :
   - Pourrait-on simplement ajouter la quatrième date à la carte précédente ?
   - Comment procéder pour arriver à une carte lisible ?

3. A lire : BAVOUX et al (1998), pp. 54-73 (chapitres consacrés aux flux et dynamiques temporelles)

17. Comment faire mentir les cartes ?

A. Les moyens

Si, par définition, la carte doit déformer la réalité, elle peut éviter de la faire mentir. Les étapes d'élaboration d'une carte, retracées brièvement dans les chapitres précédents, sont autant de moyens de dénaturer l'information, d'occulter certains aspects pour en mettre d'autres sur l'avant de la scène ou, simplement, de la falsifier :

- Le passage du géoïde à la feuille de papier plane implique une déformation. Le choix de la **projection**, c'est-à-dire de la qualité à préserver est fonction de la taille de la zone à cartographier, de sa situation géographique et du thème – autant de moyens de faire mentir les cartes.
- La carte est un modèle réduit de la réalité. Les cartes ne sont pas exhaustives . Au contraire, elles représentent une sélection en nombre et en importance (schématisation et hiérarchisation de l'information) : la **généralisation**. D'une part, l'échelle de la carte doit être en accord avec la thématique et sa nomenclature, d'autre part, la généralisation reste un traitement de l'information dont la part de subjectivité est très variable selon le type de carte.
- L'efficacité des cartes est fonction du temps de perception : la recherche de l'image. Si son importance dépend de la fonction de la carte, toute carte est régie par les règles de lisibilité. Ces critères nécessitent souvent la simplification de l'information en amont de sa traduction graphique : la **discrétisation** des catégories et la **classification** des composantes. On change de méthode et la carte change de couleur.
- La définition et délimitation des entités spatiales, c'est-à-dire la discrétisation de l'espace soulève le même problème. La délimitation est souvent une convention modifiable (regroupement d'unités spatiales, cf. fig. 126). Ce problème des unités spatiales modifiables est connu depuis longtemps sous le nom **MAUP** (modified areal unit problem)

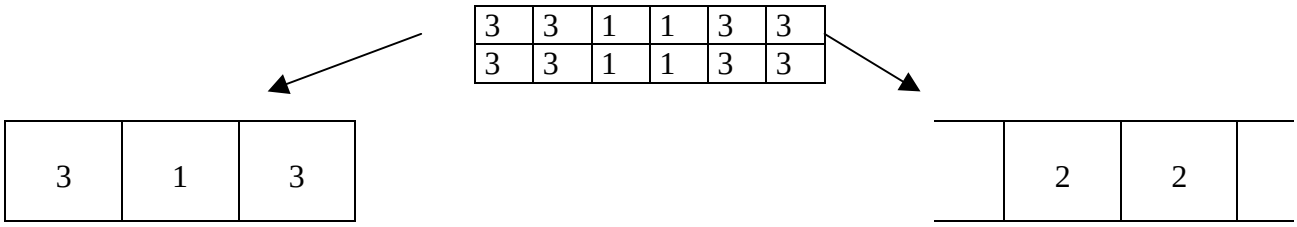


Fig. 126 : Illustration du problème des unités spatiales modifiables lors de la discrétisation de l'espace.

- L'expression graphique elle-même est source d'erreurs, de subjectivité et de mensonge. Les possibilités d'erreurs, volontaires ou non, lors de **la traduction en langage graphique** sont nombreuses. Citons notamment :

- l'inadéquation de la variable rétinienne au niveau statistique de la composante (niveau de perception)
- l'inadéquation de l'implantation de la variable rétinienne à la nature de la composante (masses et taux)
- l'expression désordonnée d'une variable rétinienne ordonnée : mettre en désordre les classes d'une composante par une suite de gris dont la valeur ne suit pas une progression simple (blanc – gris foncé – noir – gris clair) fait mentir la carte
- l'inadéquation de la construction à l'information : faire un cartogramme pour une information complexe mais riche en enseignements (corrélations entre composantes dans l'espace et / ou le temps) « noie » celle-ci
- le non respect des règles de lisibilité peut faire mentir la carte : une densité graphique trop élevé peut cacher l'essentiel. Il en va de même pour la séparation angulaire et rétinienne
- l'inadéquation entre l'information et la connotation symbolique des formes et des couleurs chargées de l'exprimer peut induire en erreur

- La titraison et la conception de la légende (**identification externe et interne**) orientent la lecture.
- La transparence affichée ou non contribue largement à la valeur de la carte : seule l'indication des sources, des méthodes de traitement et de la projection permet de juger de la qualité des données (sont-elles complètes, récentes, correctes ?) et de la pertinence des traitements opérés.
- Enfin, une fois la carte réalisée, l'emploi de la carte n'est pas maîtrisé . Les citations hors contexte sont bien connues en langage verbal. De même on peut illustrer un propos avec une carte pas adaptée, sortir une carte d'une série, la photocopier en noir et blanc, ou la réduire jusqu'à effacement de la texture.

B. Exercice : Des graphiques menteurs ?

1. Le prix des communications téléphoniques (fig. 127). Le graphique est-il correct ?

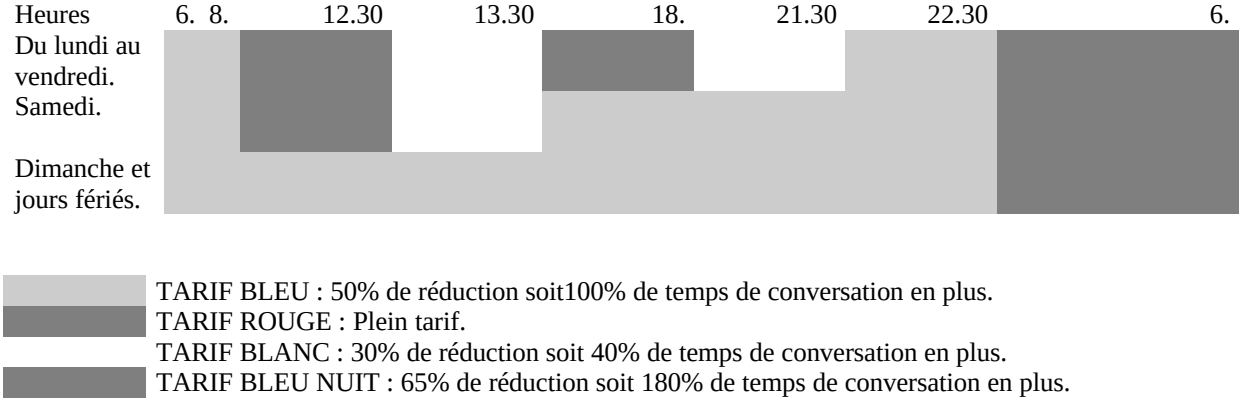
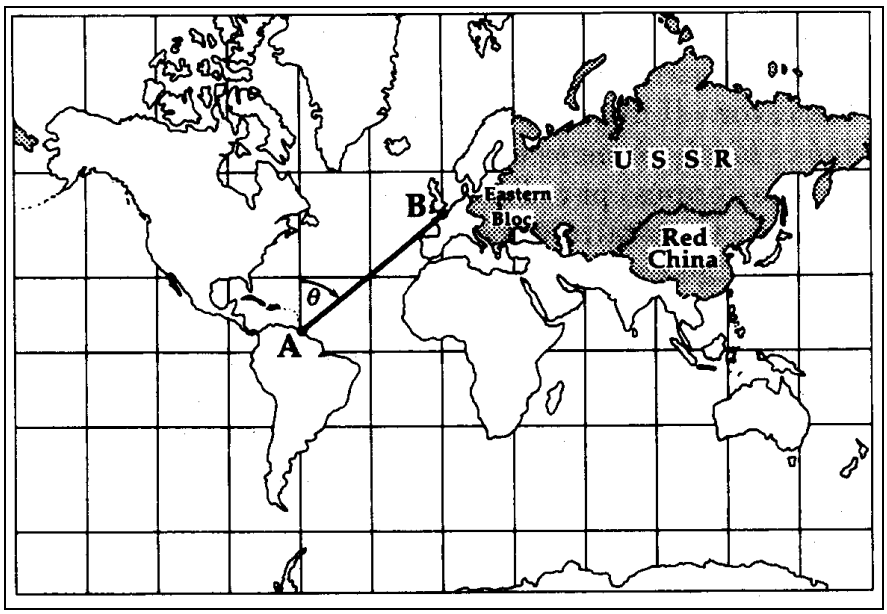

Heures
Du lundi au vendredi.
Samedi.
Dimanche et jours fériés.
6.
8.
12.30
13.30
18.
21.30
22.30
6.
TARIF BLEU : 50% de réduction soit100% de temps de conversation en plus.
TARIF ROUGE : Plein tarif.
TARIF BLANC : 30% de réduction soit 40% de temps de conversation en plus.
TARIF BLEU NUIT : 65% de réduction soit 180% de temps de conversation en plus.

Fig. 127 – Prix des communications téléphoniques (selon l'Annuaire de France Télécom, 1992). Reproduction en noir et blanc. Le diagramme original signalait les surfaces gris clair en bleu clair, le carroyage en rouge, le gris foncé en bleu foncé (blanc inchangé).

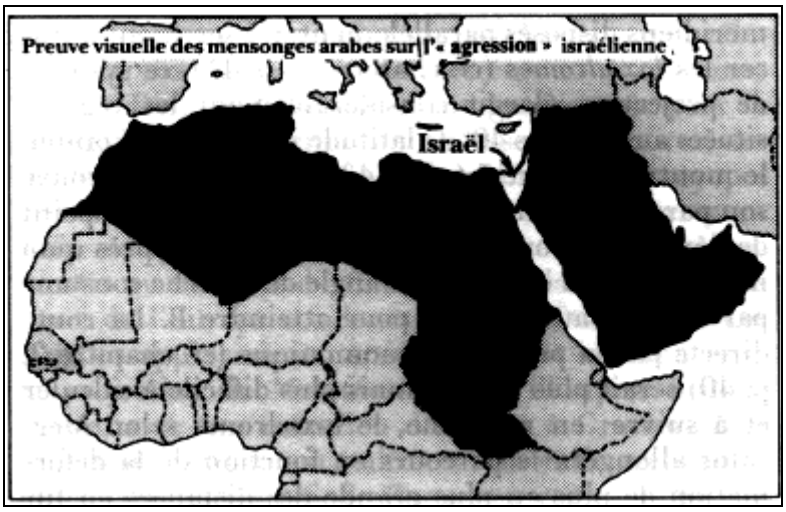
2. La menace communiste (fig. 128). La carte est-elle mensongère ?



Source: M. Monmonier, Comment faire mentir les cartes, Flamarion, 1993

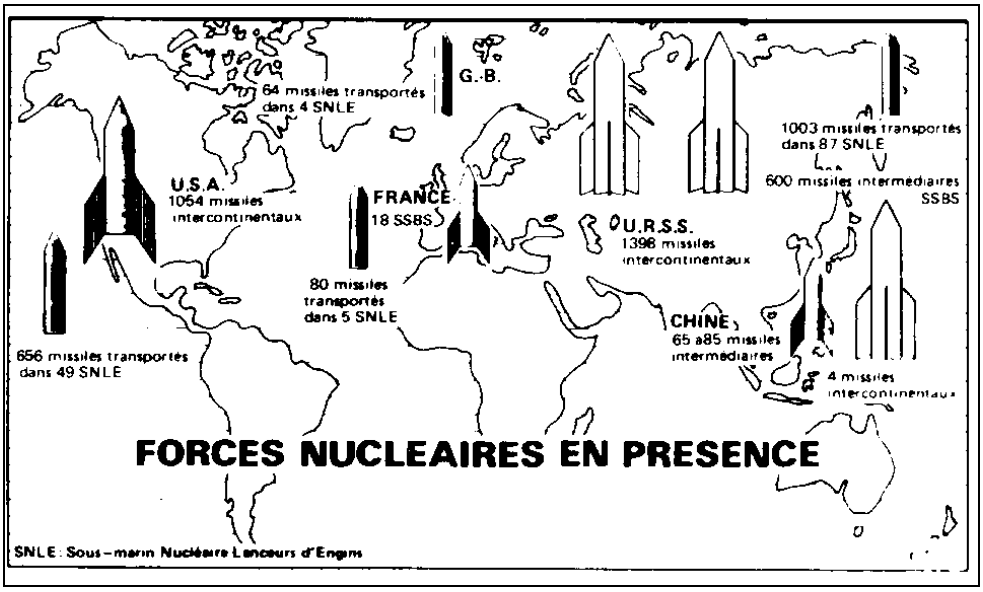
Fig. 128 : La menace communiste

3. La menace arabe (fig. 129). La carte est-elle mensongère ?



Source: M. Monmonier, Comment faire mentir les cartes, Flamarion, 1993
Fig. 129 : La menace arabe

4. Les forces nucléaires en présence (fig. 130). La carte est-elle mensongère ?



Source: R. Brunet, La carte, mode d'emploi, Fayard/Reclus, 1987
Fig. 130 : Les forces nucléaires en présence

5. A lire : MONMONNIER (1991), pp.167-206 (chapitre consacré aux cartogrammes et à la discrétisation spatiale et statistique)